

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ІМ. І. СІКОРСЬКОГО

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: Автоматизація процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском

Виконав студент 4 курсу, групи ЛА-51

_____ Пушкарьова Марія Василівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ Оніщенко В.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці _____ к. т. н., доцент Ковтун І.М.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Додаток Д.2. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка	
1	A4				Завдання на дипломний проект	2		
2	A4	ДП 5119. 00.000 ПЗ			Пояснювальна записка	68		
3	A4	ДП 5119. 00.000			Д.1. Специфікація устаткування, виробів, матеріалів	7		
4	A4	ДП 5119. 00.000.00			Д.2. Відомість дипломного проекту	1		
5	A1	ДП 5119. 01.000 СхА			Схема автоматизації функціональна	1		
6	A1	ДП 5119. 02.000			Схема технологічних блокувань	1		

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Автоматизація процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмо-
сферним тиском

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
ім. І. Сікорського**

Інститут (факультет) Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Пушкар'ювій Марії Василівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском,
керівник проекту Оніщенко Володимир Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту система керування, що забезпечує задані часові показники якості процесу керування

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском; розробка схеми автоматизації процесу; математичне моделювання реактору окиснення аміаку; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації процесу отримання азотної кислоти

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском	1.04.2019	
2	Розробка схеми автоматизації	08.04.2019	
3	Отримання математичної моделі реактору окиснення аміаку	20.04.2019	
4	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	23.04.2019	
7	Охорона праці	25.04.2019	

Студент

(підпис)

Пушкарлова М. В.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Онiщенко В. О.
(ініціали, прізвище)

Реферат

Дипломний проект на тему "Автоматизація процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском" містить пояснювальну записку об'ємом 126 сторінок. Пояснювальна записка містить 31 рисунків, 6 таблиць, 1 додаток і 11 літературних джерел. Вся інформація по даному виробництву викладена у п'ятьох розділах.

У дипломному проекті детально описаний кінцевий продукт виробництва – розведена азотна кислота, що використовується для добування азотної кислоти. Було розглянуто різні технологічні процеси, за допомогою яких можна отримати азотну кислоту, та детально описано найсучаснішу технологію виробництва азотної кислоти – Uhde.

Також дипломний проект містить у собі опис технологічної схеми виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском: опис роботи системи, опис контурів, аварійний захист та систему технічних блокувань.

У дипломному проекті розглянуті динамічні системи автоматичного керування, а саме: загальні поняття динамічних систем автоматичного керування, основні принципи побудови адаптивних систем управління, технологічні процеси як об'єкти керування, математичний опис систем автоматичного керування технологічними процесами та поняття фазового простору, ідентифікація об'єкта керування та моделювання математичної моделі реактору окиснення аміаку, були встановлені норми охорони праці.

Було розроблено математичну модель керування реактору окиснення аміаку, одного з основних приладів у багатьох технологічних процесах добування азотної кислоти. Здійснений порівняльний аналіз системи керування за ПІ- та ПІД-законом регулювання

Ключові слова: розведена азотна кислота, технологічний процес, схема автоматизації, система керування, об'єкт керування, математична модель, реактор окиснення аміаку.

Annotation

The diploma paper on "Automation of the production process of dilute nitric acid under atmospheric pressure" contains an explanatory note of 126 pages. The explanatory note contains 31 drawings, 6 tables, 1 annex and 11 literary sources. All information about the production is presented in five sections.

The diploma paper contains the details about the final product of production - diluted nitric acid which is used to produce nitric acid. Various technological processes to obtain nitric acid were reviewed, as well as the most advanced nitric acid production technology - Uhde - was described in details.

Also, the diploma paper contains a description of the technological scheme of production of dilute nitric acid under atmospheric pressure: a description of the system, the description of contours, emergency protection and a system of technical blockages.

Diploma paper reviews the dynamic systems of automatic control, namely: general concepts of automatic control dynamic systems, basic principles of adaptive control systems construction, technological processes as objects of control, mathematical description of technological processes automatic control systems, concept of phase space, identification of an object control and modeling of the ammonia oxidation reactor mathematical model, as well as the norms of labor protection.

A mathematical model for controlling the ammonia oxidation reactor, one of the main devices in many technological processes for the production of nitric acid, was developed. A comparative analysis of the control system for PII and PID law regulation was made.

Key words: dilute nitric acid, technological process, automation circuit, control system, control object, mathematical model, ammonia oxidation reactor.

Зміст

ВСТУП.....	4
1 . АЗОТНА КИСЛОТА ТА СПОСОБИ ЇЇ ДОБУВАННЯ.....	6
1.1 Фізико-хімічні властивості азотної кислоти	6
1.2 Розрахункові рівняння синтезу азотної кислоти	8
1.3 Добування азотної кислоти природнім шляхом	8
1.4 Добування азотної кислоти промисловим шляхом	9
1.5 Основні постачальники сировини	11
1.6 Принципова схема виробництва розведеної азотної кислоти.....	14
1.7 Технологія Uhde	18
1.8 Технологія виробництва азотної кислоти Uhde	19
1.9 Історія технологій азотної кислоти Uhde	20
1.10 Технологія Uhde з виробництва азотної кислоти під середнім тиском ...	22
1.11 Технологія Uhde з виробництва азотної кислоти під високим тиском ...	24
1.12 Технологія Uhde по виробництву азотної кислоти з 2 ступенями тиску	25
1.13 Технологія Uhde з виробництва азеотропної азотної кислоти.....	28
1.14 Технологія «EnviroNOx» з видалення N ₂ O / NO _x з хвостових газів	30
1.15 Технологічна схема виробництва азотної кислоти АК-72	34
1.16 Концентрування розведеної азотної кислоти	37
1.17 Перспективи розвитку виробництва азотної кислоти	38
2. ОПИС СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ ПІД АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ.....	39
2.1 Опис схеми виробництва розведеної атмосферної кислоти під атмосферним тиском.....	39
2.2 Аналіз фізико-хімічних основ процесу з точки зору автоматичного контролю виробництва	42

					ДП.5119.00.000 ПЗ					
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб		Пушкарьова М.			Автоматизація виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском			Лім.	Арк.	Аркуші
Перев		Онiщенко В.								
Реценз								НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”, ІХФ, ЛА-51		
Н.Контр.										
Затв.										

2.3. Розробка схеми автоматизації	47
2.4 Постановка задачі до розробки схеми дистанційного керування і аварійного захисту електромоторів технологічного процесу	53
2.5. Опис роботи принципової електричної схеми з дистанційного керування вмикання та вимикання.....	54
2.6. Опис роботи системи з аварійного захисту з електромоторів технологічного процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском.....	56
2.7.Опис роботи схеми технологічної сигналізації	57
2.8. Технологічні блокування	58
2.9.Опис роботи схеми технологічних блокувань	59
3. ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	60
3.1 Загальні поняття	60
3.2 Основні принципи побудови адаптивних систем управління	63
3.3 Технологічні процеси як об'єкти керування.....	66
3.4 Математичний опис систем автоматичного керування технологічними процесами та поняття фазового простору.....	71
3.5 Ідентифікація об'єкта керування	76
3.6 Моделювання математичної моделі реактору окиснення аміаку	81
4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОКИСНЕННЯ АМІАКУ У ВИРОБНИЦТВІ РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ ПІД АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ	95
5.ОХОРОНО ПРАЦІ	104
5.1. Шум	105
5.2. Повітря робочої зони	106
5.3. Електронебезпека	107
5.4. Пожежна безпека	109
ВИСНОВКИ	111
ЛІТЕРАТУРА	112
ДОДАТОК 1 Специфікація.....	114

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						3
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Складність і висока швидкість технологічних процесів в хімічній промисловості, їх чутливість до порушень режиму, а також до вибухо-пожежної небезпеки та шкідливих умов праці також підвищуються, що привертає увагу до завдань автоматизації хімічних і технологічних процесів. Автоматизоване управління й управління технологічними процесами гарантують високу якість продукту, розумне застосування сировини та енергії, продовження часу капітального ремонту обладнання, скорочення чисельності технічного персоналу.

Азотна кислота згідно з обсягом виробництва посідає друге місце з решти кислот, поступаючись сірчаній кислоті. Збільшення виробництва HNO_3 можна пояснити високим вмістом азотної кислоти та її солей для народного господарства.

Азотна кислота вважається однією з основних вихідних продуктів для більшої частини азотовмісних препаратів. Застосовування азотної кислоти велими різноманітно. Більша його частина (70-85%) використовується для виробництва азотних і складних мінеральних добрив і різних нітратів, 15-20% витрачається на виробництво вибухових речовин і ракетного палива, решта витрачається на створення барвники органічного синтезу і в кольоровій металургії.

Промисловість виробляє не концентровану (до 60-62% HNO_3) і концентрована (98-99% HNO_3) кислоту. Реактиви високої чистоти й азотна кислота виробляються в невеликих кількостях. При виробництві вибухових речовин шляхом нітрування толуолу, гексамін, ксилолу, нафталіну та інших органічних продуктів використовується концентрована азотна кислота. Розбавлена азотна кислота зазвичай застосовується для виробництва добрив.

Провідними виробниками азотної кислоти є США, Франція, Німеччина, Італія, Іспанія і Великобританія. На частку цих країн в 70-х роках припадало понад 75% загальної кількості кислоти, виробленої за цей час.

Британське консалтингове агентство Merchant Research & Consulting Ltd зазначає у своїй праці, що в цілому світовий ринок азотної кислоти вважається

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						4
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

досить насиченим в реальному часі, але попит на промислові хімікати неухильно зростає.

Середньорічний показник високого попиту на промислові хімікати на основі азотної кислоти становить 7%.

На даний момент зростання виробництва відбувається шляхом вдосконалення та оновлення технологій, а також організації випуску азотної кислоти в країнах, що розвиваються.

Крім використання концентрованої азотної кислоти на оборонних підприємствах, вона також використовується у виробництві нітроароматических з'єднань, акрилонітрильних волокон, пестицидів, лікарських препаратів і барвників. Крім того, зросла використання азотної кислоти для фармацевтичних препаратів і пестицидів.

Зараз виробництво азотної кислоти налічує 750-800 мільйонів тон продукту. Однак лише в межах 15-20% азотна кислота постачається на ринок в цілому. Решта азотної кислоти йде на потреби підприємствам, що виробляють азотні добрива, адипінову кислоту та інші хімічні речовини. Більше ніж 8-10% виробленої у світі азотної кислоти надходить у зовнішньоторгівельний виторг.

Однією зі стадій виготовлення азотної кислоти вважається стадія окислення аміаку, яка виконується в реакторі, який у виробничих умовах має назву контактною установкою.

Всі промислові способи виробництва азотної кислоти засновані на контактному окислюванні аміаку киснем повітря з подальшою обробкою оксидів азоту в слабку азотну кислоту шляхом поглинання водою.

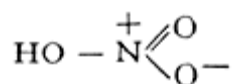
					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						5
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1 . АЗОТНА КИСЛОТА ТА СПОСОБИ ЇЇ ДОБУВАННЯ

1.1 Фізико-хімічні властивості азотної кислоти

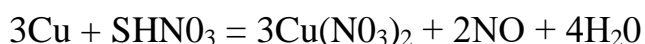
Азотна кислота (HNO_3) - одноосновна сильна кислота, при звичайних умовах безбарвна, їдка, дуже кисла рідина, що димиться на повітрі: один з найбільш важливих продуктів хімічної промисловості.

Структурна формула:



Щільність безводної азотної кислоти 1522 кг / м^3 , $t_{\text{пл}} = 41,15^\circ \text{C}$, $t_{\text{кип}} = 84^\circ \text{C}$. Завжди з водою змішується, причому утворює азеотропну суміш, яка містить 69% азотної кислоти з $t_{\text{кип}} = 121,8^\circ \text{C}$. Відомі кристаллогідрати $\text{HNO}_3 \times \text{H}_2\text{O}$ з $t_{\text{пл}} = 37,85^\circ \text{C}$ і $\text{HNO}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ з $t_{\text{пл}} = 18,5^\circ \text{C}$. У відсутності води азотна кислота нестійка, розкладається на світлі з виділенням кисню вже при звичайних температурах ($4\text{HNO}_3 = 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$). Також двоокисом азоту, що виділився, забарвлюється в жовтий, а при високих концентраціях NO_2 - в червоний колір.

Азотна кислота — сильний окислювач, окислює сірку до сірчаної кислоти, фосфор — до фосфорної кислоти. Тільки золото, тантал і деякі платинові метали не реагують з азотною кислотою. При взаємодії азотної кислоти з більшою кількістю металів, реакція проходить з виділенням окисів азоту:



Деякі метали, такі як залізо, хром, алюміній, легко розчиняються в розведеної азотної кислоти, стійкої до впливу концентрованої азотної кислоти, завдяки освіті захисного оксидного шару на поверхні металу. Ця функція дозволяє зберігати та транспортувати концентровану азотну кислоту в сталевих резервуарах.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						6
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Суміш концентрованої азотної та соляної кислоти (1: 3), називається царською горілкою, що має здатність розчиняти золото і платину. Органічні сполуки під дією азотної кислоти окислюються, причому в останньому випадку залишок азотної кислоти - нітрогрупа - NO_2 + заміщає в органічних сполуках водень. Солі азотної кислоти називаються нітратами, а солі з Na, K, Ca, також селітрами.

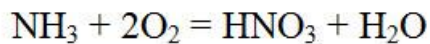
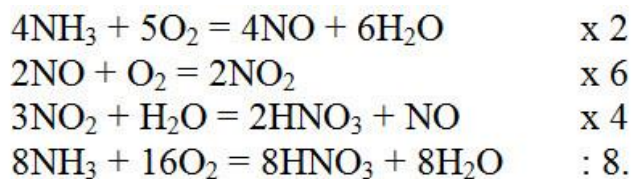
Концентрована азотна кислота здатна вибухати при зіткненні з речовинами-відновниками: сірководнем, скипидаром, етанолом. При зіткненні з горючими речовинами може статися займання, що супроводжується виділенням отруйного діоксиду азоту, тому при гасінні пожежі необхідно користуватися протигазом. Не слід допускати зіткнення азотної кислоти зі скипидаром, карбідами, порошками металів! пікринової та хлорнуватої кислот, мурашиною кислотою, а також з горючими речовинами. Під дією азотної кислоти спалахують папір, олія, деревина, вугілля.

Азотна кислота використовується у виробництві азотовмісних добрив, вибухових речовин та органічних барвників, є окислювачем у багатьох хімічних процесах, використовується у виробництві сірчаної кислоти нітрозним способом, застосовується для виготовлення целюлозних лаків, кіноплівки та ін.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						7
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Розрахункові рівняння синтезу азотної кислоти

Процес синтезу азотної кислоти з аміаку протікає в кілька стадій, кожна з яких включає декілька хімічних реакцій. Для кількісних розрахунків процесу, зокрема, визначення видаткових коефіцієнтів і загального виходу азотної кислоти на вихідну сировину доцільно користуватися підсумковим рівнянням, отриманим підсумовуванням рівнянь реакцій кожної стадії після відповідних операцій ділення та множення їх:



1.3 Добування азотної кислоти природнім шляхом

Азотна кислота може утворюватися як в природних умовах, так і в результаті хімічної реакції. У природі, завдяки родючості органічних речовин, більшість азоту обертається в аміак, що під дією нітрифікуючих бактерій в ґрунті окислюється до азотної кислоти. Останній, реагує в ґрунті з карбонатами, наприклад з карбонатом кальцію, та утворюються нітрати. Частина азоту завжди виокремлюється, коли він знаходиться у вільному вигляді в атмосфері. Вільний азот також виділяється при згоранні органічних речовин, та при спалюванні деревини, вугілля і торфу.

Окрім, існують бактерії, що при малої кількості повітря беруть кисень з нітратів, знищуючи, та виділяючи вільний азот. Активність цих денітрифікуючих бактерій здійснюється так, що деяка кількість азоту з форми, що є доступною для зелених рослин (нітрати), переноситься в недоступну (вільний азот). У результаті, не весь азот в складі загиблого рослини повертається до ґрунту: деяка кількість його повільно виділяється в вільному вигляді.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

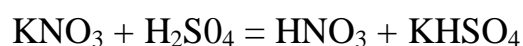
Вічне скорочення мінеральних азотних сполук повинно було привести до знищення життя на Землі, якби не існувало процесів у природі, що могли компенсувати втрату азоту. Такі процеси включають, по-перше, електричні розряди (грозові блискавки), що відбуваються в атмосфері, в ході яких при високій температурі азот з'єднується з киснем в оксид, що є легкокорозійним у воді, утворюючи азотну кислоту.

Азотна кислота, потрапляючи в ґрунт, вступає в реакцію з розташованими в ній сполуками натрію, кальцію, калію та утворює солі азотної кислоти — нітрати, необхідні для рослин. Таким чином, за допомогою гроз неживий азот втягується в життя рослин, а через них — у тварин і людей.

Ще одним способом відновлення азотистих сполук у ґрунті є азотобактерії, що здатні переробляти атмосферний азот. Деяка кількість з цих бактерій осідають на коренях рослин сімейства бобових, викликаючи утворення характерних набряків - «бульбочок», тому їх називають бульбочкових бактерій. Асимілюючи атмосферний азот, азотобактерії створюють з нього сполуки азоту, а рослини потім перероблюють останній в білки та інші складні речовини. Отже, в природі існує нескінченний азотний цикл.

1.4 Добування азотної кислоти промисловим шляхом

Другий спосіб добування азотної кислоти здійснюється в заводських умовах. Цей процес вже був відомий в середні століття. Так, в XIII столітті було описано виробництво азотної кислоти при нагріванні нітрату калію з галуном, залізним купоросом і глиною. В середині XVII століття І.Р. Глаубер порекомендував отримати азотну кислоту при помірному нагріванні (до 150 С) нітрату калію з концентрованої сірчаної кислоти:

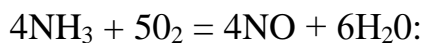


До початку XX століття цей метод був використаний в виробництві, замінивши нітрат калію дешевшим природним чилійським нітратом, NaNO_3 .

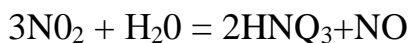
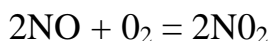
					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						9
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

У наш час спосіб виробництва азотної кислоти спирається на каталітичному окисленні аміаку киснем повітря. Основні етапи процесу:

контактне окислення аміаку до окису азоту:



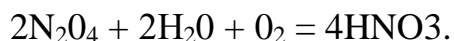
окислення оксиду азоту до діоксиду і поглинання водою суміші так званих «нітрозних газів»:



Суміш аміаку (10-12%) з повітрям пропускається через решітку каталізатора, нагріту до 750-900 ° С, які являють собою сплави платини — потрійний (93% Pt. 3% Rh. 4% Pd) або подвійний (90- 95% Pt. 10 -5% Rh). Також використовується двостадійний каталізатор (перша ступінь — платинова сітка. Друга — не платинового каталізатор), що дозволяє знизити споживання платини на 25-30%. Контакт повітряно-аміачної суміші з каталізатором не повинен перевищувати 1м сек, інакше утворюється оксид азоту розкладається.

Друга стадія процесу — окислення NO в NO₂ і розчинення NO₂ в воді — може проводитися при атмосферному тиску, під тиском до 1 МН / м² (10 кгс / см²)) або комбінованим способом. , в якому відбувається тільки поглинання під тиском азотистого газу водою. Отримують азотну кислоту з концентрацією 45-49% або (при використанні тиску) 55-58%. Відгонкою таких розчинів може бути отримана азеотропна азотнокислотна композиція.

Більш концентровану кислоту (до 100%) виробляють за допомогою дистиляції розчинів азотної кислоти з концентрованої кислоти H₂SO₄ або прямим синтезом — реакцією N₂O₄ з водою (або розведеною азотною кислотою) і киснем:



					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						10
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Основні постачальники сировини

Сировиною для виробництва азотної кислоти є аміак, потужності по його виробництву є у 8 країнах СНГ. Сумарний потенціал випуску аміаку у СНГ перевищує 24 млн т/рік (таблиця один)

Таблиця 1.1 — Виробники аміаку в країнах СНД і їх потужності

Підприємство	Місцезнаходження
Російська федерація	
ОАО «Тольяттіазот»	г. Тольятті, Самарская обл.
ОАО НАК «Азот»	г. Новомосковськ, Тульська обл.
ОАО «Азот»	г. Кемерово
ОАО «Невиномиський азот»	г. Невиномиск, Ставропольський край
ОАО «Акрон»	г. Великий Новгород
ОАО «Минудобрения»	г. Россош. Воронежська обл.
ОАО «Череповецький азот»	г. Череповець. Вологодська обл.
ОАО «Азот»	г. Березники. Пермський край
ОАО «Кірово-Чепецкий хімічний комбінат»	г. Кірово-Чепецк. Кіровська обл.
ОАО «Ангарська нафтохімічна компанія»	г. Ангарск. Іркутська обл.
ОАО «Дорогобуж»	п. Верхнедніпровський. Смоленська обл.
ОАО «Куйбишевазот»	г. Тольятті. Самарська обл.
ОАО «Мінеральні добрива»	г. Пермь
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»	г. Салават. Башкортостан
ОАО «Воскресенські мінеральні добрива»	г. Воскресенськ. Московська обл.
ОАО «Корунд»	г. Дзержинск. Нижньогородська обл.

ОАО «Щокиноазот»	г. Щокино. Тульська обл.
ОАО «Новолипецький металургичний комбінат»	г. Липецк
Україна	
ОАО «Концерн «Стірол»	Горловка. Донецька обл.
ГП «Одеський припортовий завод»	п. Григорівка. Одеська обл.
11111 «Азот»	г. СевероДонецьк. Луганська обл.
ОАО «Азот»	г. Черкаси
ОАО «Ровноазот»	г. Рівне
ОАО «Днепроазот»	г. Кам'янське. Дніпропетровська обл.
Узбекістан	
ОАО «Азот»	г. Фергана
ОАО «Навоїазот»	г. Навої
ОАО «Електрохімпром»	г. Чірчик. Ташкентська обл.
Білорусь	
ОАО «ГродноАзот»	г. Гродно
Казахстан	
ТОО «Актал Ltd»	г. Актау. Мангистауская обл.
Грузія	
ОАО «Азот»	г. Рустави
Туркменістан	
ПО «Мари Азот»	г. Мари
«Тедженський карбомідний завод»	г. Теджен
Таджикістан	
ЗАО СП «Таджик Азот» (бывший ГП «Вахшский азотнотуковый завод»)	г. Калининабад. Хатлонская обл.

Види використання азотної кислоти:

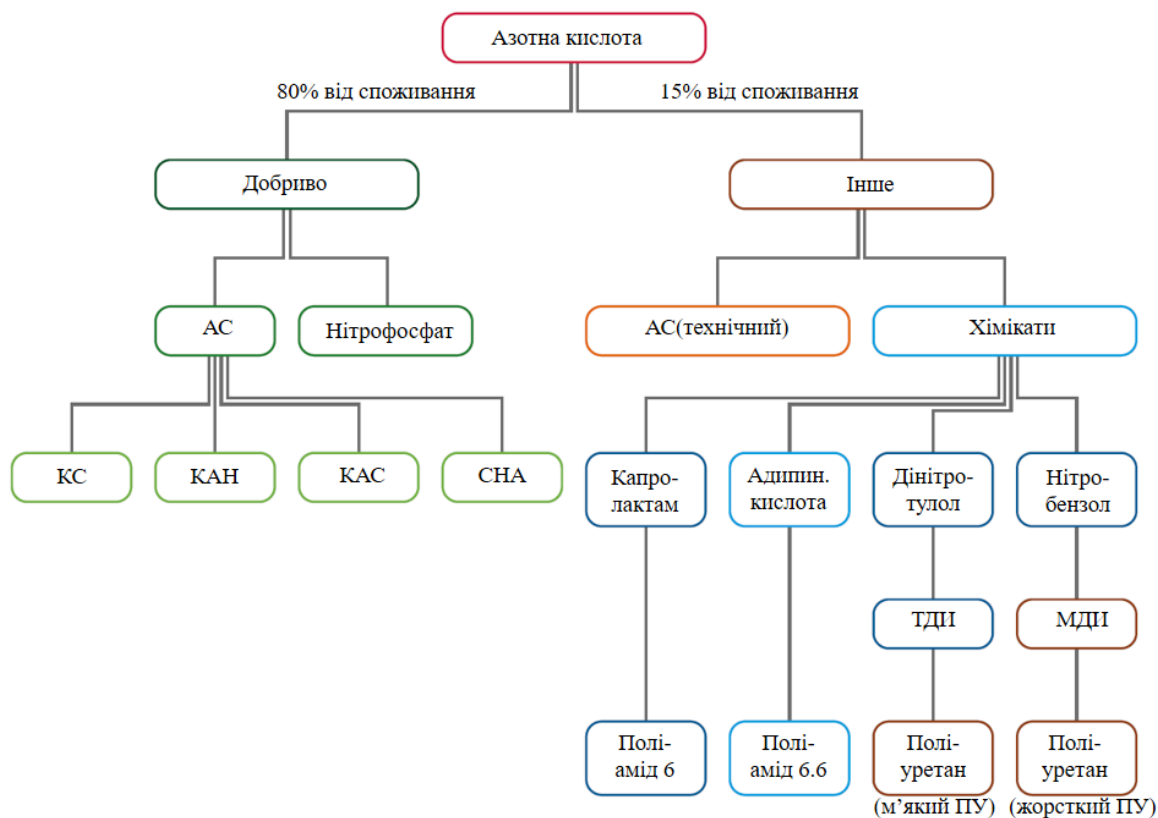


Рис.1.1 – Види використання азотної кислоти: АС – аміачна селітра, КС – кальцієва селітра, КАН – Кальцій амоній нітрат, КАС – карбамідо-аміачна суміш, СНА – сульфат нітрат амонію, ТДІ – толуолдіізоціанат, МДІ – метілендіфенілдіізоціанат.

1.6 Принципова схема виробництва розведеної азотної кислоти

Незалежно від конкретної технологічної схеми Принципова схема виробництва розведеної азотної кислоти завжди містить в собі шість основних операцій, незалежно від конкретної технологічної схеми.

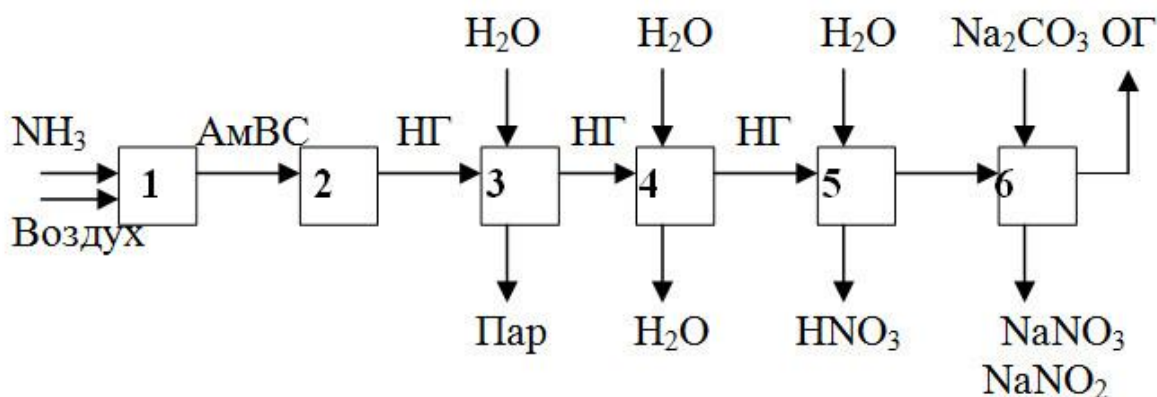


Рис.1.2 – Принципова схема виробництва розведеної азотної кислоти: 1 – очищення аміаку і повітря і їх змішання; 2 – окислення аміаку на каталізаторі; 3 – охолодження нітрозних газів з використанням теплоти процесу окислення; 4 – охолодження нітрозних газів з використанням теплоти процесу окислення; 5 – окислення оксиду азоту (II) і освіту азотної кислоти; 6 – очищення (нейтралізація) газів, що відходять; АмВС – аміачно-повітряна суміш; НГ – нітрозні гази; ОГ – гази

Очищений аміак і повітря проходять стадію змішування, а потім проходять стадію окислення аміаку. Газова суміш (азотисті гази) нагрівається теплом реакцій і охолоджується в котлутилізаторі з утворенням технологічної пари і холодильника, що забезпечує часткове окислення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV). Одночасно з утворенням азотної кислоти в процесі поглинання оксиду азоту (IV) водою проводять подальше окислення оксиду азоту (II). Вихлопні гази, що містять не прореагував залишок оксиду азоту (IV), очищаються шляхом нейтралізації розчином карбонату натрію і потім викидаються в атмосферу.

У наведеній вище базовою схемою виробництва розведеної азотної кислоти процесу окиснення аміаку та обробки азотистих газів розрізняються по

режимах проведення процесів. Для першої стадії оптимальними умовами є висока температура і низький тиск; для другої стадії — низька температура і високий тиск, що впливає з фізико-хімічних закономірностей цих процесів. Оскільки визначальним параметром є тиск, всі наявні технологічні схеми виробництва розведеної азотної кислоти діляться на три типи:

1. при атмосферному тиску (тип I);
2. при високому тиску (тип II);
3. з двома ступенями тиску (комбіновані схеми) (тип III).

Характеристики та особливості цих типів технологічних схем наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Характеристики технологічних схем виробництва розведеної азотної кислоти

$\text{NH}_2 \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$		Тип системи	Степень превращения	Особенности процесса
Давление на всех стадиях $P = 0,1 \text{ МПа}$		I	0,90	Большой абсорбционный объем; необходимость улавливания NO_2
Давление на всех стадиях $P > 0,1 \text{ МПа}$		II	0,98	Высокие потери катализатора
Давление на I стадии $P = 0,1 \text{ МПа}$	Давление на II стадии $P > 0,1 \text{ МПа}$	III	0,96–0,98	Устранены недостатки I и II типа

Через низьку продуктивність, громіздкого обладнання, значних втрат аміаку, невеликому ступені абсорбції та, як наслідок, необхідності в дорогих очисних спорудах, які працюють при атмосферному тиску, вони втратили своє значення і не будуються.

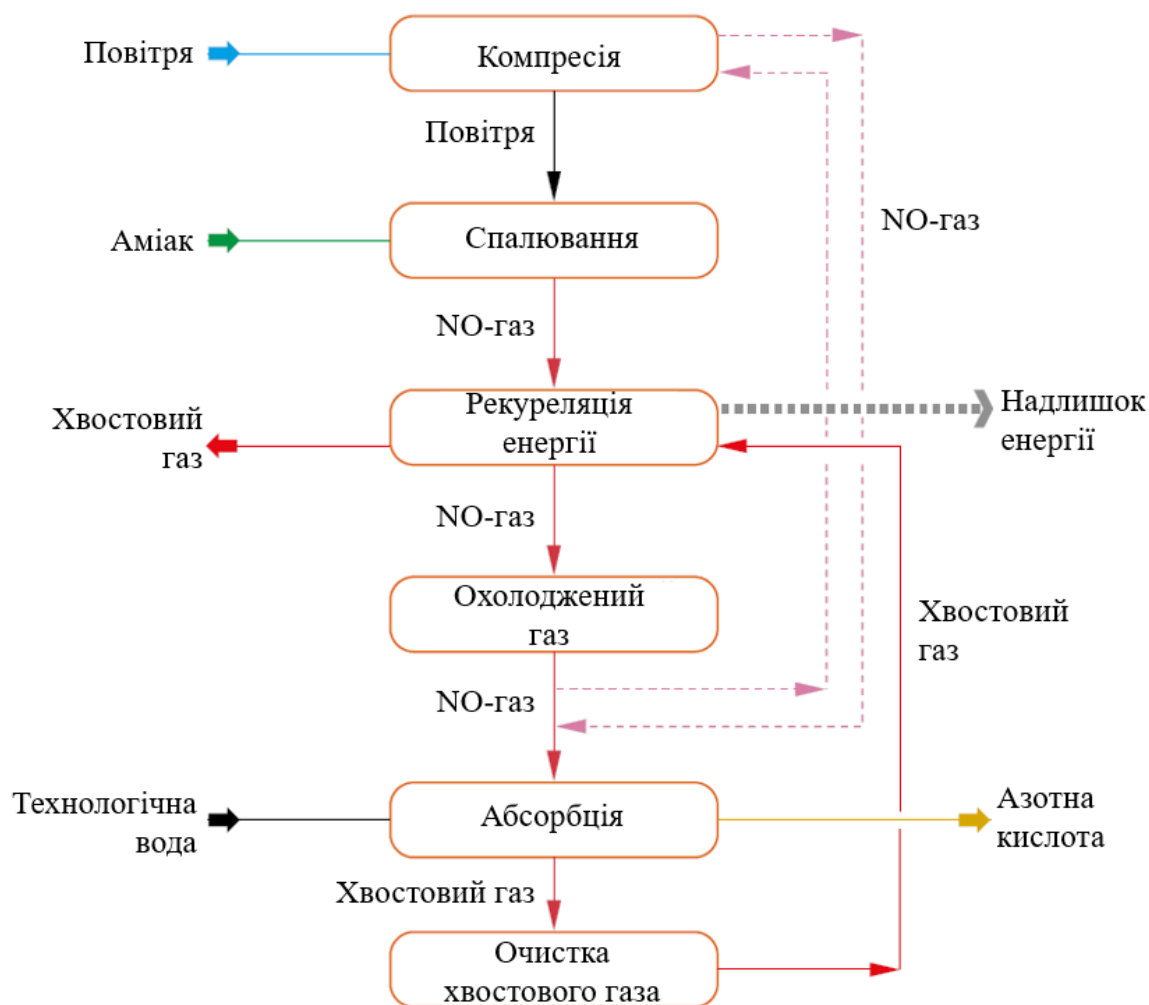


Рис.1.3 – Блок-схема процесу отримання азотної кислоти

Хоча сам хімічний процес отримання азотної кислоти за останні сто років не змінився, темпи розвитку технології, від перших установок до сучасних, високопродуктивних, компактних і екологічно чистих виробництв, можна порівняти з темпами розвитку автомобілебудування за той же період.

Сьогодні винятковим способом отримання азотної кислоти є окислення аміаку киснем повітря в присутності каталізатора з благородних металів. Каталізатори, які використовують в процесі, складаються з ряду платино-родієвих сіток, число яких залежить від робочого тиску і конструкції контактного апарату. Сітки сьогодні в основному виробляються в'язанням з тонких дротів, звичайно діаметром 60 або 76 мкм.

Система сетокуловітелєй платини з паладію, може бути легко встановлена під платиновим каталізатором. Також є комбіновані системи каталізаторних сіток і сетокуловітелєй платини. В даний час є можливість виробляти каталізаторні сітки діаметром більше ніж 5,5 м. З одним реактором окислення аміаку може проводитися понад 1500 т / добу азотної кислоти.

Технічно можливі реактори окислення більшого розміру, максимальний розмір обмежується лише розміром транспортних засобів обробкою фланців.

Азотна кислота виходить в три етапи за такими основними рівняннями реакції:

1. Від згоряння аміаку



2. Окислення окису азоту



3. Абсорбція двоокису азоту в воді



На практиці ці три етапи можуть бути реалізовані по-різному, отже, є ряд процесів отримання азотної кислоти. Реакції в сучасних установках азотної кислоти протікають або під єдиним тиском (монотиск) або з двома ступенями тиску.

У групі технологічних схем монотиск розрізняють реакції, які відбуваються під середнім тиском: при розрахунковому тиску від 4 до 6 бар абс. і під високим тиском від 8 до 12 бар абс.

Технологія з двома ступенями тиску відрізняється тим, що окислення аміаку відбувається під тиском ок. 4-6 бар абс., а абсорбція двоокису азоту відбувається під тиском близько 10-12 бар абс.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						17
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимальна технологічна схема вибирається з урахуванням вартості сировини і допоміжних матеріалів, енергозасобів, інвестиційних витрат і місцевих умов.

1.7 Технологія Uhde

Відповідно до строгими вимогами до заходів щодо зменшення забруднень можна забезпечити зміст окисів азоту (NOX) в залишковому газі нижче 25 ppm. Більш того, викиди закису азоту, небажаного побічного продукту на етапі окислення аміаку, можна скоротити до мінімуму за допомогою застосування системи EnviNOx, розробленої Uhde, яка сьогодні є найкращою наявною технологією.

В даний час в різних країнах світу проводиться 60 мільйонів тонн на рік азотної кислоти різної концентрації. Приблизно 85% цієї кількості використовується в якості проміжного продукту у виробництві азотних мінеральних добрив, в першу чергу, аміачної селітри і її похідних, таких як нітрат кальцію, вапняно-аміачна селітра і карбамідо-аміачна суміш. Інша кількість йде у виробництво пористої гранульованої аміачної селітри для гірничої промисловості, і використовується в якості проміжного продукту для виробництва спеціальних хімічних речовин, таких як капролактам або адипінова кислота.

Існує зростаючий попит на азотну кислоту азеотропної концентрації (приблизно 68%), яка використовується в якості нітріруючого реагенту в виробництві нітробензолу, динітротолуолу та інших хімічних речовин. Вона далі переробляються в ТДІ (Толуїлендіізоціанат) або в метілендіфенілдіізоціанат і в кінцевому підсумку використовуються для виробництва поліуретану. ThyssenKrupp Industrial Solutions охоплює багато зі згаданих технологій.

Серед великої різноманітності інших застосувань на особливу згадку гідно використання як хімічного реагенту в металургії, наприклад, як реактиву для травлення або протруювання нержавіючої сталі, і застосування у виробництві азотного ангідриду для ракетного палива.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						18
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.8 Технологія виробництва азотної кислоти Uhde

В якості ключового хімікату для виробництва добрив, основного елемента у видобутку корисних копалин або проміжний етап у виробництві полімерів, виробництво азотної кислоти завжди задовольняє всі потреби.

Маючи в активі кілька тисяч побудованих установок, ThyssenKrupp Industrial Solutions сьогодні є однією з провідних інжинірингових компаній у світі, що здійснює поставку хімічних заводів, НПЗ і коксохімічних заводів, спроектованих на основі відпрацьованих технологій Uhde. технологічний портфель бізнес-одиниці «Технології переробки ресурсів» включає технології виробництва цементу і дроблення матеріалів під маркою Polysius, а також машини, установки і системи для гірських розробок, видобутку ресурсів, підготовки, переробки і перевалки вантажів.

Володіючи багаторічним досвідом реалізації проектів за схемою EPC, вони пропонують замовникам виконання концептуальних і маркетингових досліджень, компонування виробництв, послуг проектування, поставки, виготовлення, монтажу та введення в експлуатацію обладнання - і все це з єдиного джерела. Їхні співробітники на всіх континентах використовують свої інжинірингові знання і кваліфікацію для вироблення інноваційних рішень і пошуку шляхів збереження природних ресурсів.

Більше 40 відділень в 25 країнах з поділом на 6 регіонів утворюють щільну мережу, що дозволяє компанії послідовно надаватися послуги у відповідність з місцевими вимогами. Завдяки такому знанню місцевих умов і світової мережі, вони мають можливість встановлювати стандарти, за допомогою яких їхні замовники отримують очевидні конкурентні переваги.

У їхніх принципах надання комплексних послуг відображається весь цикл експлуатації обладнання.

Вони пропонують послуги поставки запчастин від заводу-виготовлювача, комплексного управління виявить а також виконання проектів з обслуговування, модернізації і перекладу обладнання на нові технології.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						19
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.9 Історія технологій азотної кислоти Uhde

1905 - молодий інженер Фрідріх Уде побудував свою першу установку з виробництва азотної кислоти

6 квітня 1921 - заснування компанії Uhde

1926 - отримання першого аміаку на установці в Мон-Сені

1928 - перехід установки до повномасштабного виробництва

1929 - перший проект комерційної повнорозмірною установки

1932 - пуск першої комерційної повнорозмірною установки

У 1838 р Шарль Фредерік Кульманн вперше отримав оксид азоту окисленням аміаку в присутності платинового каталізатора і азотну кислоту, при абсорбції оксидів азоту водою. Однак це відкриття не було поставлено на комерційну основу, тому що аміак був лишком дорогим сировиною для отримання азотної кислоти в порівнянні з чилійської селітрою, що використовувалась у виробництві в той час.

Історія сучасної технології одержання азотної кислоти починається в 1901 році, коли Вільгельм Оствальд, створивши необхідні умови для окислення аміаку, отримав високий вихід оксиду азоту. Перші установки, що працюють за технологією Оствальда, були пущені в першому десятилітті XX століття.

Побудувавши більше 55 установок з 1980 р, ThyssenKrupp Industrial Solutions (раніше відома як Uhde) сьогодні є провідним ліцензіаром технології виробництва азотної кислоти.

Уже в 1905 р. Фрідріх Уде, засновник компанії Uhde GmbH, разом з професором Вільгельмом Оствальдом спроектував і побудував пілотну установку для отримання азотної кислоти згорянням аміаку в повітрі в присутності каталізатора.

З моменту заснування компанії в 1921 році було спроектовано, побудовано і пущено в експлуатацію в самих різних кліматичних зонах близько 200

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						20
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

установок для отримання слабкою і концентрованої азотної кислоти, окислення аміаку киснем повітря до оксидів азоту і абсорбції нітрозних газів, що відходять.

З тих пір ThyssenKrupp Industrial Solutions є однією з провідних інжинірингових компаній, що займаються проектуванням і будівництвом установок по одержанню азотної кислоти і контактних апаратів окислення аміаку.

Згодом технологічні процеси постійно вдосконалювалися в міру зростання вимог, що стосуються контролю забруднення повітряного середовища і необхідності зниження витрат на енергію.

Установки, спроектовані і побудовані ThyssenKrupp Industrial Solutions відрізняються високою надійністю, рентабельністю і тривалим терміном безперебійної роботи. В даний час установки зупиняють лише для заміни каталізатора і інспекції обладнання.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						21
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.10 Технологія Uhde з виробництва азотної кислоти під середнім тиском

Виробництво АК під середнім тиском на ФМЕ SKW у Віттенберзі, Німеччина, потужністю 350 т / добу (HNO₃ 100%).

Апарат окислення аміаку розрахований на потужність, рівну 500 т / добу. (HNO₃ 100%) і постачає існуюче виробництво концентрованої АК нітрозні газами.

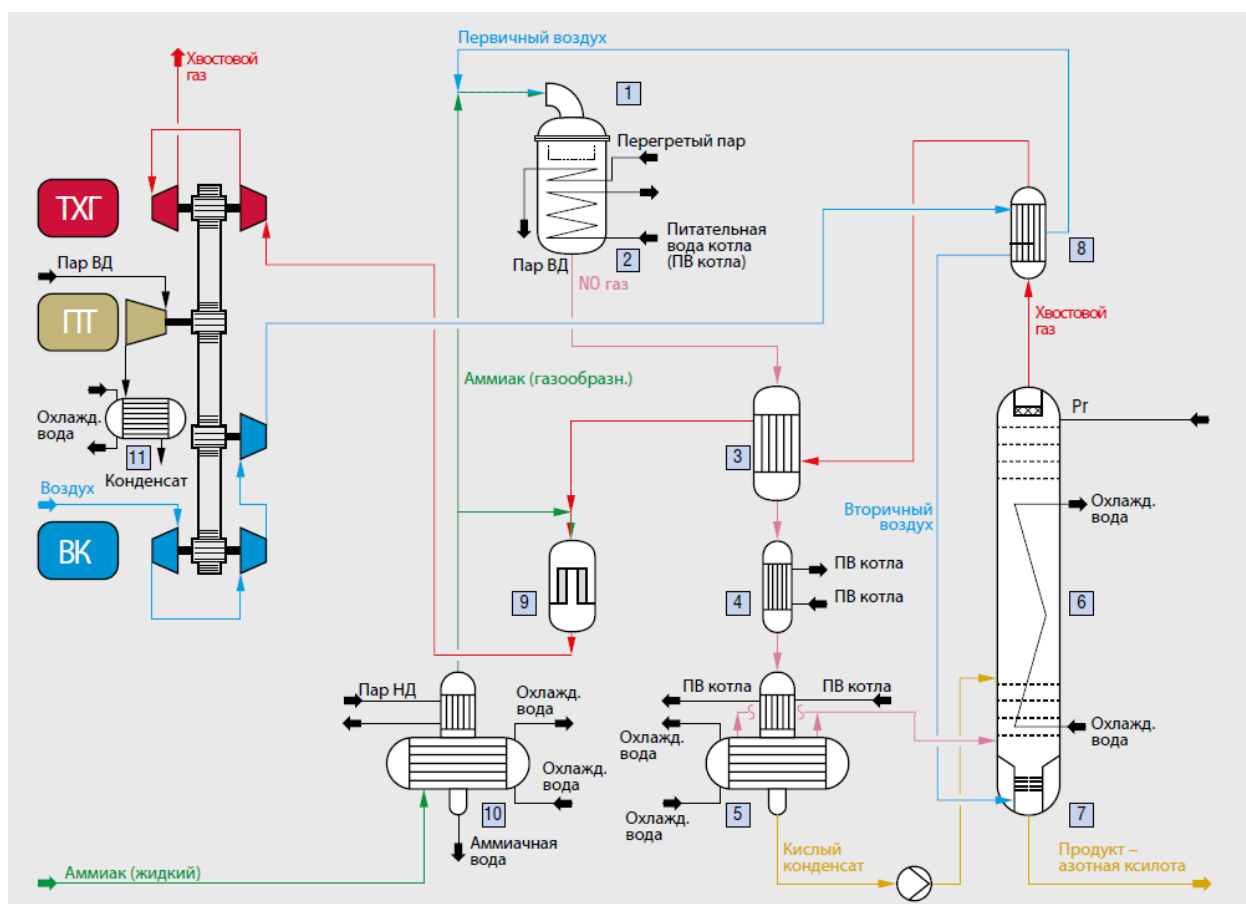


Рис.1.4 – Технологічна схема виробництва азотної кислоти під середнім тиском:

1 – реактор; 2 – холодильник технологічного газу; 3 – нагрівач хвостового газу 3; 4 – економайзер; 5 – холодильник-конденсатор і підігрівач живильної води; 6 – абсорбційна колона; 7 – колона відділення попутних газів; 8 – нагрівачі хвостового газу 1 і 2; 9 – реактор хвостового газу; 10 – випарник і перегрівач аміаку; 11 – конденсатор турбінного пара;

ТХГ – турбіна хвостового газу; ПТ – парова турбіна; ВК – повітряний компресор.

За цією технологією повітря, необхідний для горіння аміаку, надходить від неохолоджуваного повітряного компресора. Може застосовуватися або блок компресорів, розташованих на одному валу, або блок компресорів з компактним редуктором і інтегрованою турбіною хвостового газу.

Робочий тиск залежить від макс. досягається за допомогою неохолоджуваного компресора кінцевого тиску, т. е. 4-5 бар абс. при застосуванні відцентрових компресорів і 5-6 бар абс. при застосуванні осьових.

На установці з одним апаратом окислення аміаку і однієї абсорбційної колоною можуть бути отримані до 700 т / добу азотної кислоти (100% HNO_3). Тиск процесу дозволяє досягти продуктивності до 1000 т / добу при наявності другої абсорбційної колони. Технологічна схема з використанням середнього тиску рекомендується, якщо пріоритетним є максимальне енергозбереження.

Повітряний компресор зазвичай має привід від турбодетандера хвостового газу і парової турбіни, що працює на парі, отриманому в установці. Якщо пар потрібно для інших цілей, то комплект компресорів може мати привід від високовольтного асинхронного або синхронного двигуна замість парової турбіни, щоб весь отриманий пар міг бути виведений з установки.

На установці такого типу можна отримати або один сорт азотної кислоти максимальною концентрацією 65% або два сорти азотної кислоти різних концентрацій, наприклад, 60% і 65%.

Зміст NO_x потім повинно бути далі зменшено до рівня норм за допомогою селективного каталітичного відновлення хвостових газів в присутності каталізатору з недорогоцінного металу і при використанні аміаку як відновника.

Технологія виробництва азотної кислоти під середнім тиском характеризується високим виходом по азоту, що становить приблизно 95,7 або 95,2% при очищенні хвостового газу, а також низькою витратою платини і великою кількістю відведеного пара.

В результаті низького теплового навантаження реактора згоряння каталізаторні сітки слід замінювати раз в 6 місяців.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						23
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.11 Технологія Uhde з виробництва азотної кислоти під високим тиском

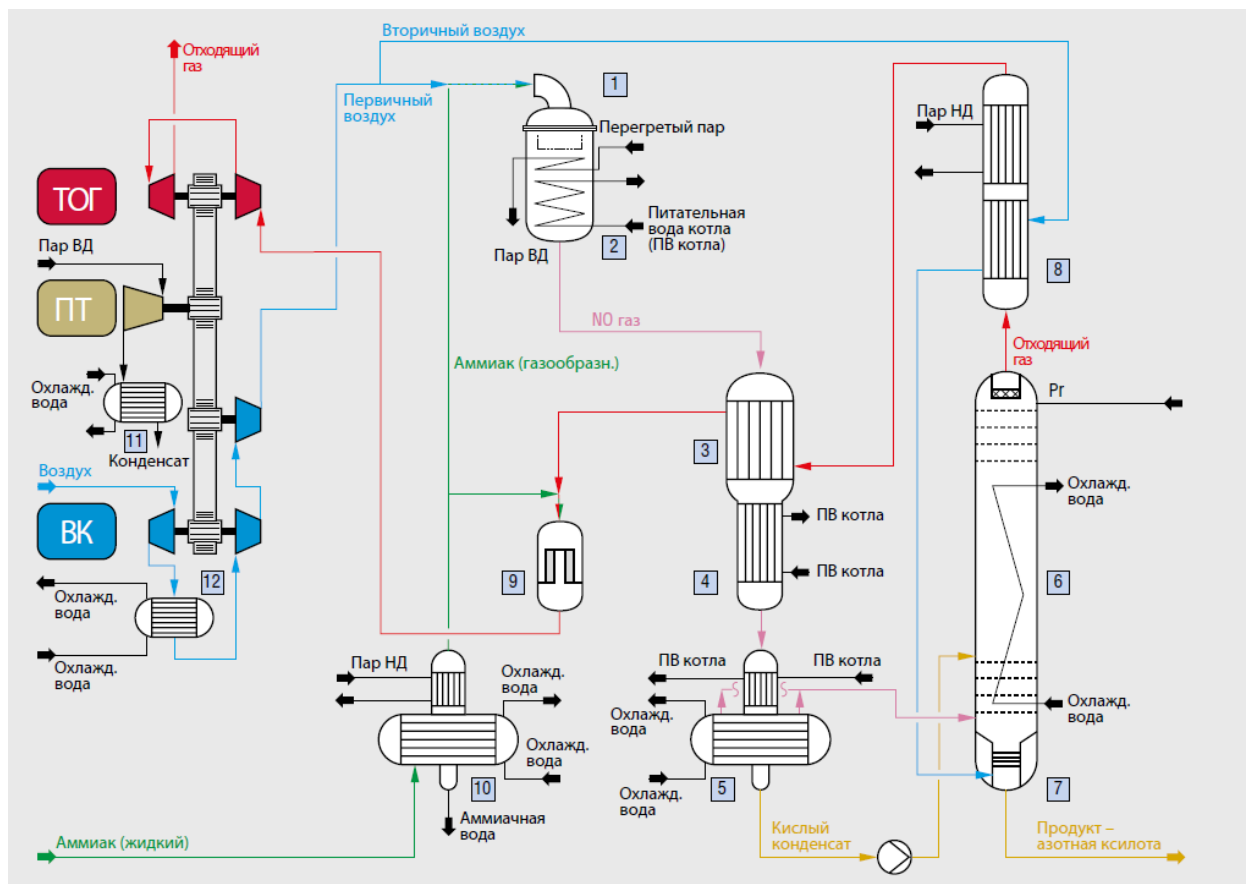


Рис.1.5 – Технологічна схема виробництва азотної кислоти під високим тиском: 1 – реактор; 2 – холодильник технологічного газу; 3 – нагрівач хвостового газу 3; 4 – економайзер; 5 – холодильник-конденсатор і підігрівач живильної води; 6 – абсорбційна колона; 7 – колона відділення попутних газів; 8 – нагрівачі хвостового газу 1 і 2; 9 – реактор хвостового газу; 10 – випарник і перегрівач аміаку; 11 – конденсатор турбінного пара; 12 – проміжний воздухоохладитель; ТХГ – турбіна хвостового газу; ПТ – парова турбіна; ВК – повітряний компресор.

За схемою високого тиску технологічний повітря компрімується до кінцевого тиску 7-12 бар абс. за допомогою відцентрового багатоступінчастого компресора з проміжною секцією охолодження. Кращим є блок компресорів з компактным редуктором, але альтернативно може застосовуватися блок компресорів на одному валу.

Застосування високого тиску дозволяє використовувати одну абсорбційну колону, а також обладнання і трубопроводи меншого розміру.

Завдяки компактному розташуванню обладнання корпус для розміщення машин і агрегату згоряння аміаку має невеликий розмір, але все добре доступно для техобслуговування. Такий тип установки рекомендується, якщо важливим моментом є швидка окупність.

Дана технологія може бути використана при потужності від 100 т / добу до 1000 т / добу (100% HNO₃).

Отримана концентрація азотної кислоти становить до 67% що трохи вище, ніж при застосуванні технології середнього тиску. Також можливо отримати два або більше потоків продукції з різною концентрацією.

Компресор може мати привід від парової турбіни або електродвигуна.

Концентрація NO_x в хвостовому газі може бути скорочена до менш ніж 200 ppm за рахунок додаткової каталітичного очищення хвостових газів. Вихід по азоту, який досягається в технології високого тиску, становить приблизно 94,5%.

При потужностях менше 100 т / добу нижчі капіталовкладення можуть бути краще, ніж оптимальна рекуперація енергії.

У таких випадках ThyssenKrupp Industrial Solutions може запропонувати більш спрощену технологічну схему, без турбін хвостового газу і парових турбін, без нагрівання хвостового газу після стадії абсорбції. Спеціальні конструктивні рішення для стадії охолодження технологічного газу, конденсатора і колони відділення попутних газів дозволяють ще більш скоротити витрати.

ThyssenKrupp Industrial Solutions також пропонує подібний процес без випаровування аміаку і утилізації тепла для рекуперації кислоти з хвостового газу в таких установках як, н-р, установки по отриманню адипінової кислоти.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						25
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.12 Технологія Uhde по виробництву азотної кислоти з 2 ступенями тиску

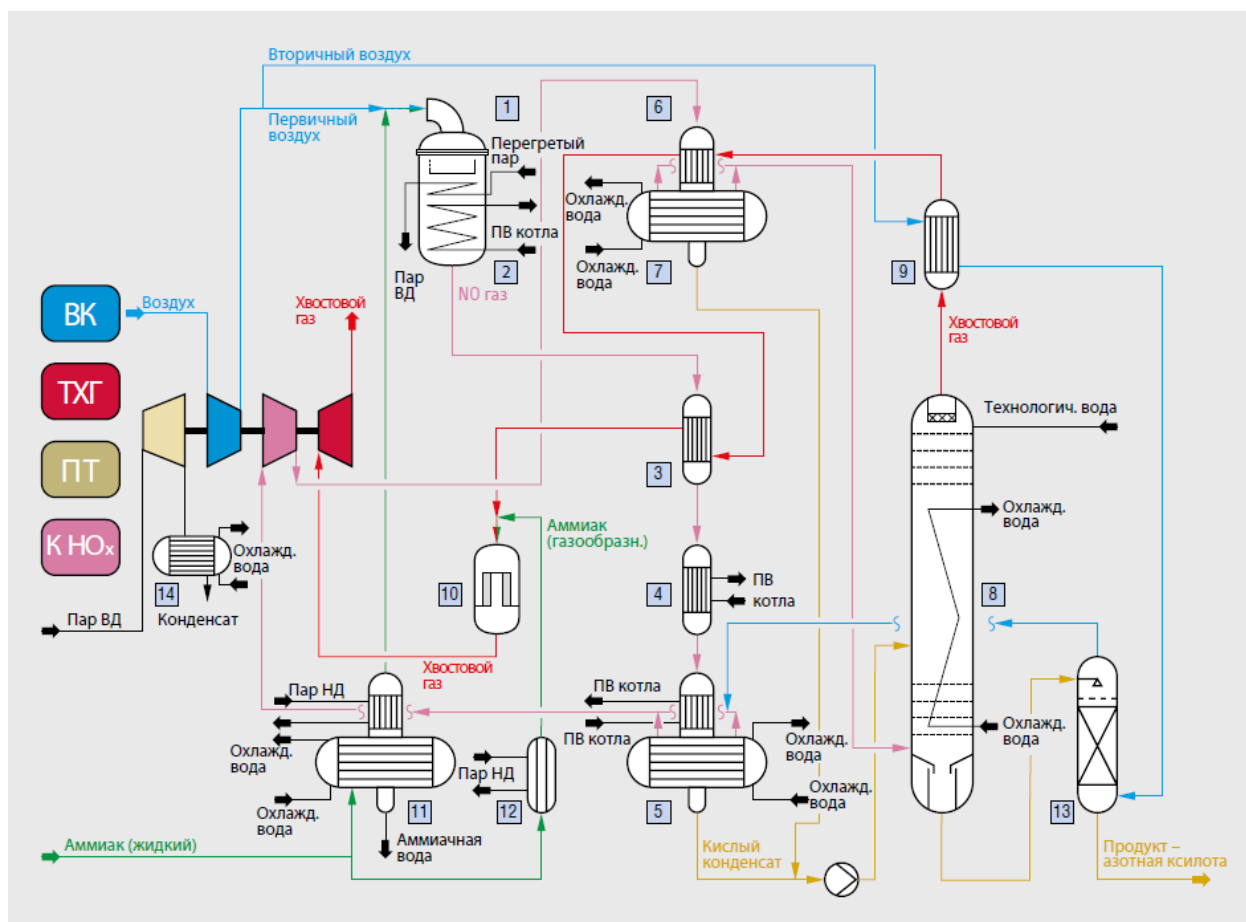


Рис.1.6 – Технологічна схема виробництва азотної кислоти з 2 ступенями тиском: 1 – реактор; 2 – холодильник технологічного газу; 3 – нагрівач хвостового газу; 4 – економайзер; 5 – холодильник-конденсатор 1 і по догрівач живильної води; 6 – нагрівач хвостового газу 2; 7 – холодильник-конденсатор 2; 8 – абсорбційна колона; 9 – нагрівач хвостового газу 1; 10 – реактор хвостового газу; 11 – випарник і перегрівач аміаку; 12 – випарник аміаку; 13 – колона відділення попутних газів; 14 – конденсатор турбінного пара; ТХГ – турбіна хвостового газу; ПТ – парова турбіна; ВК – повітряний компресор; до NO_x = компресор NO_x.

Технологія з 2 ступенями тиску була розроблена відповідно до найвищих вимог щодо захисту навколишнього середовища.

В даному процесі технологічний повітря стискається до кінцевого тиску 4-6 бар абс.

Гази згоряння з контактного апарату охолоджуються в ряду послідовних теплообмінників з отриманням пара і підігрівом хвостового газу, який потім стискається до 10-14 бар абс. в компресорі NOx. Кінцевий тиск вибирається з розрахунку забезпечення оптимальної роботи секції абсорбції для того, щоб досягти необхідного змісту NOx в хвостовому газі і щоб забезпечити компресор з приводом від парової турбіни достатньою кількістю пара з холодильника технологічного газу. При цьому необхідно, щоб завжди був невеликий надлишок пара для забезпечення стабільних умов роботи.

Як альтернативний привід компресора може служити високовольтний асинхронний або синхронний електродвигун, а отриманий пар може бути використаний для інших цілей. Технологія з двома ступенями тиску економічно об'єднує переваги низького тиску в секції окислення і високого тиску в секції абсорбції. За такою схемою на одній лінії можуть бути отримані до 1600 т / добу азотної кислоти (100%). Використовувані машини можуть бути розташовані на одному валу або складатися з компресора з компактним редуктором з інтегрованими ступенями стиснення повітря / NOx і розширення хвостового повітря. Розташування на одному валу рекомендується при продуктивності від 500 до 2200 т / добу. або при необхідності в відвід великої кількості енергії.

При необхідності можна отримати концентрацію NOx менш 25 ppm методом селективного каталітичного відновлення в присутності каталізатора з недорогоцінного металу і аміаку в якості відновного агента.

Завдяки низькій тепловим навантаженням апарату окислення аміаку, сітки каталізатора можуть використовуватися 6 або 8 місяців до їх часткової або повної заміни.

Концентрація отриманої кислоти може становити більше 68%. Можливі й два або більше потоку продукції з різною концентрацією. Крім того, при необхідності, в такій установці можуть бути перероблені потоки слабкої азотної кислоти (різної концентрації), що надходить від інших виробництв.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						27
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.13 Технологія Uhde з виробництва азеотропної азотної кислоти

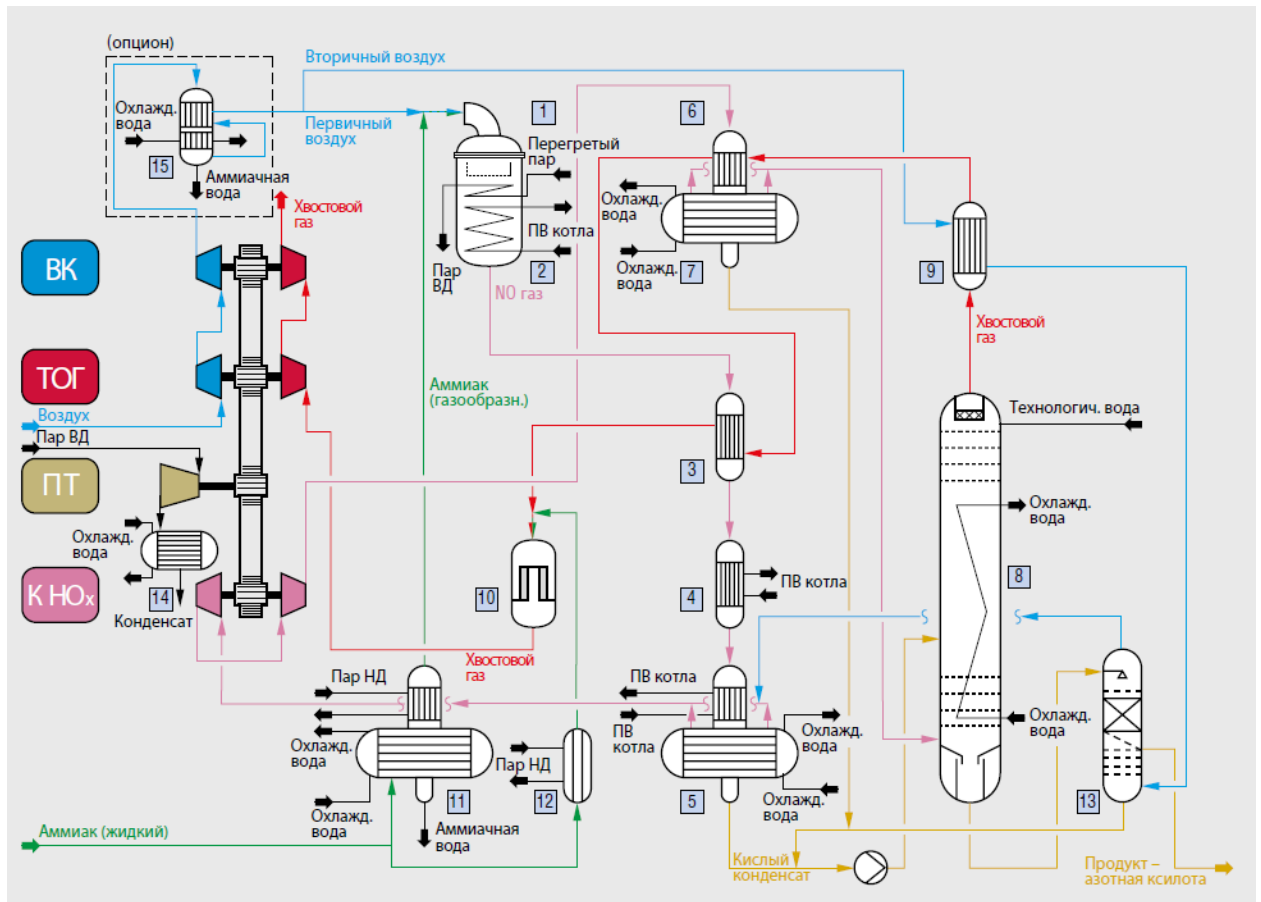


Рис.1.7 – Технологічна схема установки азеотропної азотної кислоти: 1 – реактор; 2 – холодильник технологічного газу; 3 – нагрівач хвостового газу; 4 – економайзер; 5 – холодильник-конденсатор 1 і по догрівач живильної води; 6 – нагрівач хвостового газу 2; 7 – холодильник-конденсатор 2; 8 – абсорбційна колона; 9 – нагрівач хвостового газу 1; 10 – реактор хвостового газу; 11 – випарник і перегрівач аміаку; 12 – випарник аміаку; 13 – колона відділення попутних газів; 14 – конденсатор турбінного пара; 15 – повітряний конденсатор (опціон); ТХГ – турбіна хвостового газу; ПТ – парова турбіна; ВК – повітряний компресор; до NOx – компресор NOx.

Азеотропна азотна кислота з підвищеною концентрацією 68% по масі може замінювати концентровану азотну кислоту в певних областях застосування таких, як, наприклад, нітрування. З огляду на підвищений попит на ринку, ми розробили вдосконалений процес безперервного отримання азеотропної азотної кислоти без освіти в якості побічного продукту слабкої азотної кислоти. Основна технологічна схема - це розширена технологія з 2 ступенями тиску.

Важливим фактором при отриманні азеотропної кислоти, крім забезпечення достатнього тиску на стадіях абсорбції і охолодження, є загальний баланс води в системі. Крім того, співвідношення азотний тетраоксид і оксиду азоту в технологічному газі на вході абсорбційної колони повинно знаходитися в рівновазі з необхідною концентрацією кислоти.

Для досягнення загального водного балансу в деяких пунктах схеми слід видаляти воду, що надходить з припливним повітрям, всмоктуваним повітряним компресором. Необхідні заходи залежать від кліматичних умов, в основному від вологості і температури повітря. При екстремальних кліматичних умовах рекомендується передбачити додатковий холодильник-конденсатор повітря з частковим використанням захопленої води. Зазвичай в технології Uhde з виробництва АК з 2 ступенями тиску випарник аміаку пов'язаний з додатковим контуром захопленої води, в якому значною мірою тепло випаровування аміаку, особливо в секції абсорбції, використовується для досягнення необхідної концентрації кислоти і змісту NOx на виході абсорбції. Також може бути передбачена зовнішня стадія захопленої води, але це дороге і енергоємне рішення, яке ThyssenKrupp Industrial Solutions вибрала б лише в тому випадку, якщо всі інші заходи виявилися б недостатніми.

Конструкція абсорбційної колони особливо важлива при виробництві азеотропної АК. За допомогою вдосконаленої комп'ютерної програми компанії ThyssenKrupp Industrial Solutions може прогнозувати межі концентрації кислоти, теплові навантаження, зміст NOx в хвостовому газі, і т. д.

Необхідно також згадати про інше важливішому етапі даної технології - секції сушіння вторинного повітря, яка служить для видалення нітрозних газів з сирої кислоти, на виході стадії абсорбції.

Все вищесказане показує, що ThyssenKrupp Industrial Solutions в стані пропонувати рішення по отриманню азеотропної азотної кислоти, що відповідають індивідуальним потребам замовників.

Показане в якості прикладу обладнання повністю інтегровано в концепцію блоку компресорів з компактним редуктором, яка може бути застосована

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						29
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

при продуктивності до 1100 т / добу. А при більш високій продуктивності використовується блок компресорів на одному валу згідно зі схемою на сторінці 13. Тиск від першого ступеня повітряного компресора сприяє окисленню аміаку, а кінцевий тиск від компресора NOx прискорює абсорбцію і освіту азеотропної кислоти.

1.14 Технологія «EnviNOx» з видалення N₂O / NO_x з хвостових газів

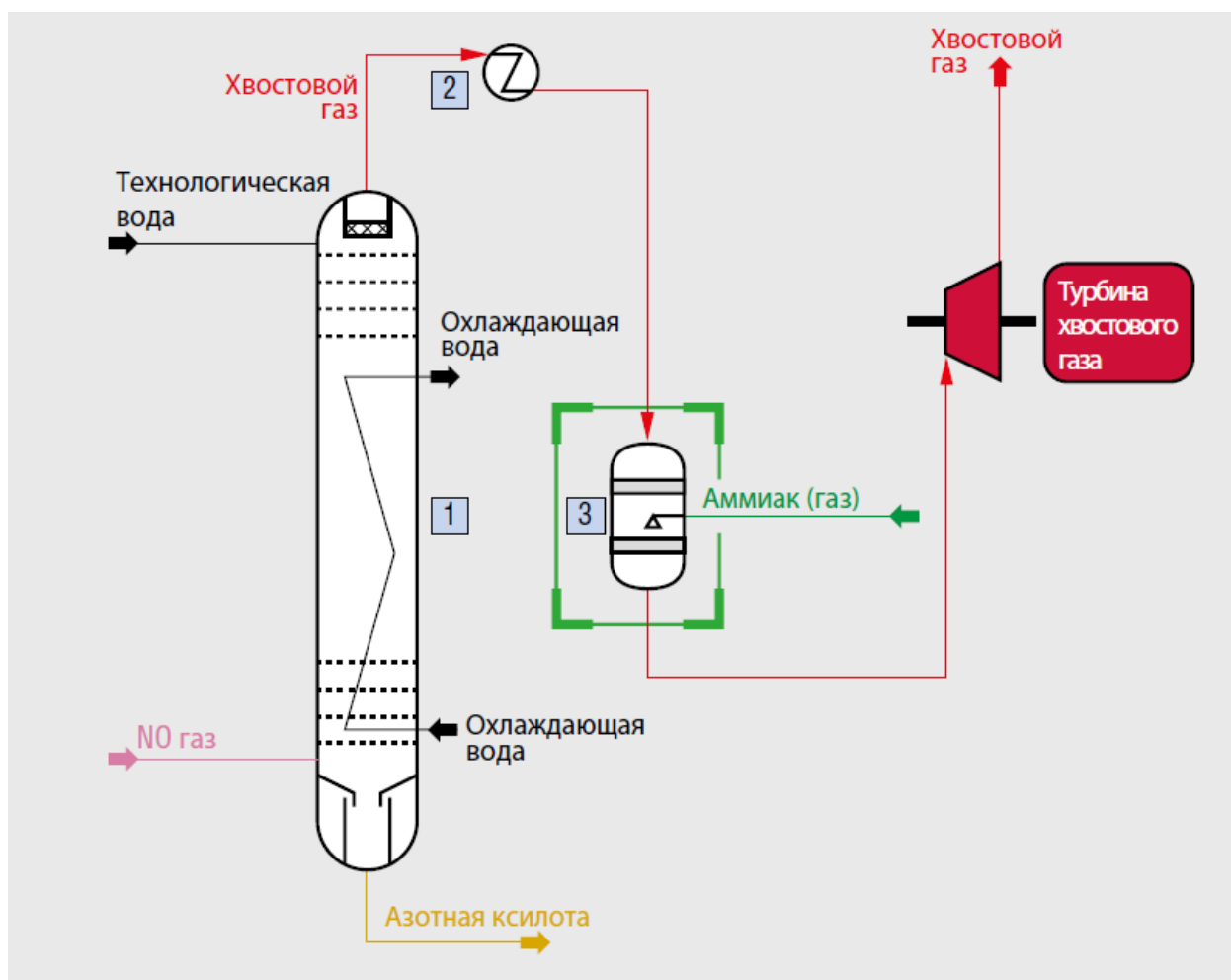


Рис. 1.8 – Технологічна схема секції очищення хвостового газу установки з виробництва азотної кислоти з реактором EnviNOx: 1 – абсорбционная колона; 2 – нагреватель хвостового газа; 3 – реактор EnviNOx.

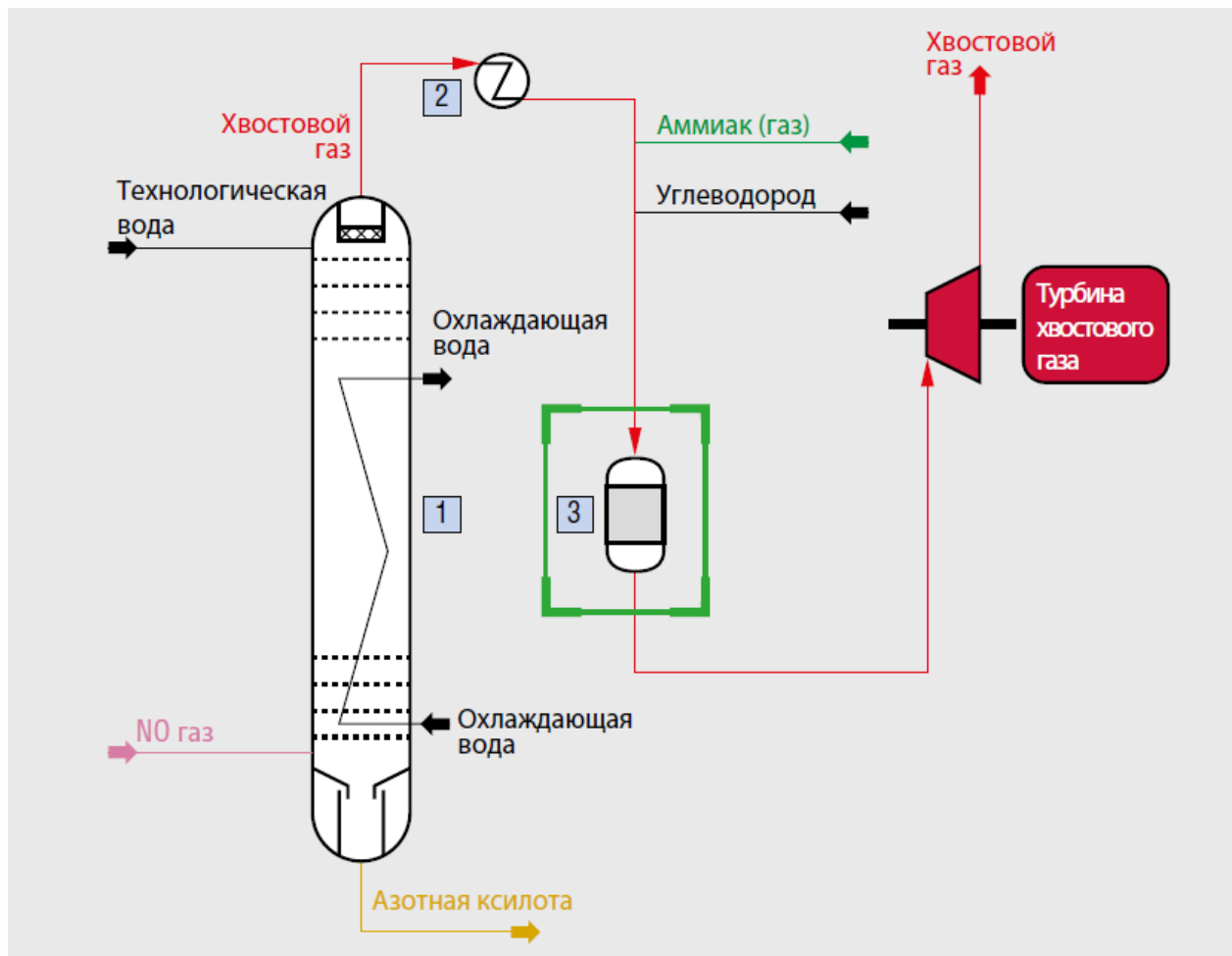


Рис.1.9 – Технологічна схема секції очищення хвостового газу установки з виробництва азотної кислоти з реактором EnviNOx (для газу з більш низькою температурою):
1 – абсорбційна колона; 2 – нагрівач хвостового газу; 3 – реактор EnviNOx.

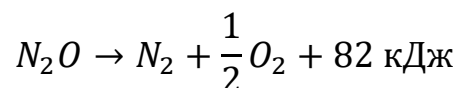
При окисленні аміаку в контактному апараті в якості небажаного побічного продукту утворюється оксид азоту N_2O , що отримала назву «звеселяючий газ». Залежно від ефективності окислення за рахунок цього газу втрачається ок. 1-2% подається аміаку, така ж кількість втрачається при утворенні азоту. Закис азоту проходить через всю установку азотної кислоти в незмінному вигляді і викидається в атмосферу разом з хвостовим газом.

Довгий час на викиди закису азоту не звертали уваги, але тепер законодавчі органи всерйоз стурбовані проблемою викидів, оскільки закис азоту є парниковим газом, який приблизно в 300 разів активніше, ніж двоокис вуглецю, і також сприяє руйнуванню озонового шару.

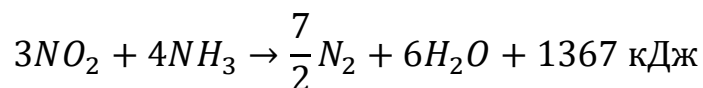
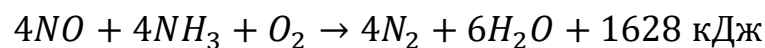
ThyssenKrupp Industrial Solutions своєчасно врахувала ці тенденції і розробила каталізатор і технологію по зменшенню викидів в атмосферу закису азоту з установок азотної кислоти. Додатковою перевагою є те, що одночасно знижуються викиди і оксиду і діоксиду азоту (NO_x).

Процес «EnviNO_x®» протікає в реакторі хвостових газів, встановленому прямо перед турбіною хвостового газу. ThyssenKrupp Industrial Solutions розробила варіанти технології, що враховують температурну специфіку різних виробництв азотної кислоти. Варіант з розкладанням закису азоту особливо рекомендується при температурі хвостового газу понад 420 ° C.

За цим варіантом в першому шарі каталізатора закис азоту розкладається до азоту і кисню за наступним рівнянням



Потім хвостові газы перемішуються з аміаком до надходження в другий шар, де NO_x каталітически відновлюється до водяної пари і азоту:



У цьому шарі закис азоту ще далі віддаляється.

Рішення ThyssenKrupp Industrial Solutions для очищення хвостових газів більш низької температури базується на принципі каталітичного відновлення закису азоту вуглеводнями, наприклад, природним газом, який поєднується з відновленням NO_x аміаком. У більшості випадків видалення N₂O і NO_x може здійснюватися паралельно в єдиному шарі каталізатора. Утворений при використанні вуглеводнів як відновників парниковий газ діоксид вуглецю за кількістю незначний в порівнянні з рівнем скорочення викидів ПГ, який досягається видаленням закису азоту.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						32
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

За обома варіантами технології «EnvINOx®» хвостові гази виводяться з реактора з істотно зниженою концентрацією N₂O. Крім того, вихідні концентрації NO_x набагато нижче, ніж на виході традиційного агрегату DeNO_x. В результаті димові гази - безбарвні. Є можливість видалити тільки NO_x (без N₂O), що може застосовуватися для очищення хвостових газів з температурою приблизно 200-500 ° С.

Агрегати «EnvINOx» однаково підходять і для реконструкції наявних установок, і для будівництва нових, тому що, як останню ланку технологічного ланцюга, вони не пов'язані з виробництвом азотної кислоти або проміжного NO-газу, т. Е. Виключається ймовірність втрати або забруднення продукту .

Таблиця 1.3. — Типи установки

Тип установки	Технологія середнього тиску	Технологія високого тиску	Технологія с двома ступінями тиску
Робочий тиск Р абс.	5,8 бар	10,0 бар	4,6 / 12,0 бар
Аміак	284,0 кг	286,0 кг	282,0 кг
Електроенергія	9,0 кВт	13,0 кВт	8,5 кВт
Платина, початкові витрати	0,15 г	0,26 г	0,13 г
Витрати при рекуперації	0,04 г	0,08 г	0,03 г
Охлаждающая вода($\Delta t = 10$ К)включаючи воду для конденсатора паровой турбины	100,0 т	130,0 т	105,0 т
Технологічна вода	0,3 т	0,3 т	0,3 т
Нагривающая пара НД 8 бар, насыщенная	0,05 т	0,20 т	0,05 т

Залишкова пара ВД 40 бар, 450°C	0,76 т	0,55 т	0,65 т
------------------------------------	--------	--------	--------

Примітка: Порівняння типових видаткових коефіцієнтів на тонну азотної кислоти (100%) для установок, оснащених компресором з приводом від парової турбіни і блоком компресорів на одному валу, при утриманні NOx в хвостовому газі менше 50 ppm.

1.15 Технологічна схема виробництва азотної кислоти АК-72

Вітчизняна технологічна схема виробництва розведеної азотної кислоти з двома ступенями тиску (комбінована схема) (рис. 1.10).

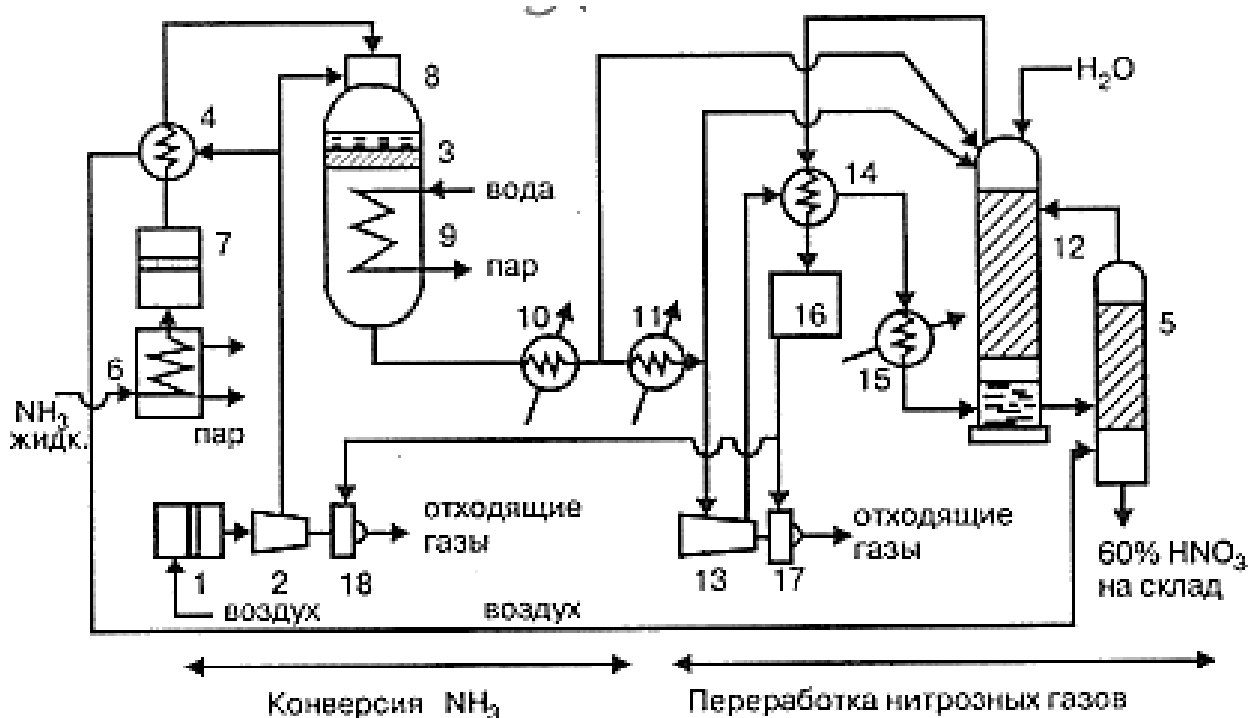


Рис. 1.10 – Технологічна схема виробництва азотної кислоти АК-72: 1 – фільтр очищення повітря; 2 – повітряний компресор; 3 – контактний апарат; 4 – підігрівач газоподібного аміаку; 5 – продувальна колона; 6 – випарник рідкого аміаку; 7 – фільтр очищення аміаку; 8 – камера змішувача контактного апарату; 9 – вбудований котел-утилізатор; 10 – економайзер (водонагрівач); 11 – холодильник; 12 – абсорбційна колона; 13 – нітрозні компресор; 14 – підігрівач відхідних газів; 15 – холодильник-конденсатор; 16 – система каталітичного очищення вихлопних газів; 17 – рекупераційні газові турбіни.

Він заснований на замкнутому енергетичному технологічному циклі з двухступінчатою конверсією аміаку і охолодженням азотистих газів (стадія І) під тиском 0,108 МПа. У цій схемі найбільш оптимальні умови передбачені для кожного з етапів виробництва - окислення аміаку та переробки азотистих газів.

У схемі передбачені:

- випуск продукції у вигляді 60% азотної кислоти;
- ретельне очищення аміаку і повітря;
- охолодження нітрозних газів з промиванням їх від нітриту і нітрату амонію;
- каталітична очистка вихлопних газів;
- використання вторинних енергетичних ресурсів (теплоти - для підігріву вихлопних газів перед їх каталітичної очищенням і енергії стиснутих газів для приводів повітряного і нітрозного компресорів).

Атмосферне повітря проходить стадію очищення від пилу та інших домішок у фільтрі 1, а потім поступає у повітряний компресор 2, де стискається до 0,42 МПа і ділиться на два потоки. Один з потоків надходить у контактний апарат 3, а інший потік подається в продувну колону 5 через, пройшовши через підігрівач аміаку 4 . Після проходження випарника 6 газоподібний аміак очищається у фільтрі 7 а потім за допомогою гарячого повітрям до 80-1200С нагрівається в підігрівачі. Аміак і повітря, що пройшли очищення, надходять в змішувальну камеру 8 контактного апарату 3. АмВС, що була утворена, містить близько 0,11 об. дол. аміаку. Вона проходить ретельне очищення в керамічному фільтр, що знаходиться в контактному апараті, і надходить на двоступеневий каталізатор, що складається з сіток,що містять каталізатор – платину, і шару окисного каталізатора.

Нітрозні гази, що утворювалися, спочатку подаються у котел-утилізатор 9, що знаходиться в нижній частині контактного апарата, а потім послідовно поступають в економайзер 10, а потім в холодильник 11, де відбувається процес

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						35
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

охолодження газів до 550С. При охолодженні нітрозних газів відбувається конденсація парів води що призводить до утворення азотної кислоти різної концентрації, що потім поступає в абсорбційну колону 12. В нітрозному компресорі 13 відбувається стискання до 0,108- 0,110 МПа. При стисканні вони нагріваються до 2300С, через це потім вони поступають на охолодження в холодильник 14, у якому одночасно з охолодженням нітрозних газів відбувається нагрівання вихідних газів, до 1500С, і у холодильнику-конденсаторі 15 до 40-600С, потім потрапляють в абсорбційну колону 12, в яку зверху надходить вода (паровий конденсат).

Кислота, що утворилась(58-60%), переходить з нижньої частини колони в продувну колону 5, щоб мати змогу звільнитися від оксидів азоту, що в ній розчинені, і звідти вона переходить у сховище. Вихідні гази прямують до підігрівача 14 з абсорбційної колони, а потім направляються в систему каталітичного очищення 16, що містить з топку і каталітичний реактор. Очищені вихлопні гази з вмістом оксидів азоту не більше 0,008% обсягу при температурі 7500С прямують до рекупераційних турбін 17 і 18, що забезпечують роботу повітряного компресора 2 та нітрозного компресора 13.

У системі АК-72 розміри контактного апарату: циліндрична форма, діаметр 4 м, висота 5,6 м. Стисле повітря проходить по кільцевому зазору, що знаходиться між внутрішнім і зовнішнім корпусами реакційної частини апарату, прямує в змішувач, що знаходиться у верхній частині апарату, де потім стисле повітря змішується з аміаком. Суміш, що утворилась, прямує о фільтру, а потім потрапляє у каталізатор. У нижній частині апарату розташовані змійовики котла-утилізатора, у які поступають нітрозні гази, що пройшли каталізатор.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						36
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.16 Концентрування розведеної азотної кислоти

В цілому ряді виробництв (нітрування ароматичних вуглеводнів, отримання нітратів целюлози, спиртів та інших.) Використовується не розбавлена (45-60%), а концентрована (96-98%) азотна кислота, яка не може бути отримана за описаним вище схемами. Для отримання подібної кислоти використовуються два методу: концентрування розведеної кислоти і прямий синтез з рідких оксидів азоту.

При простому упарюванні водою азотної кислоти не можна отримати продукт концентрацією вище азеотропа (68,5%), для якого зміст азотної кислоти в парах і рідкій фазі однаково. Щоб збільшити концентрацію одержуваної цим способом кислоти, її переганяють в присутності водоотнимаючих засобів (ВОС). Тоді при кип'ятінні потрійний суміші «H₂O-HNO₃-ВОС» в парах зменшується вміст водяної пари і зростає вміст парів азотної кислоти. При конденсації пари утворюється висококонцентрована азотна кислота. При цьому її концентрація залежить від складу потрійний суміші і природи ВОС.

В існуючих технологічних схемах концентрування розведеної азотної кислоти в якості ВОС використовуються технічна сірчана кислота концентрацією 92-93% або концентрований розчин (плав) нітрату магнію, що містить 80% солі.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						37
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1.17 Перспективи розвитку виробництва азотної кислоти

Виключне значення азотної кислоти для багатьох галузей народного господарства і оборонної техніки і великі обсяги виробництва зумовили інтенсивну розробку ефективних та економічно вигідних напрямків вдосконалення азотнокислотного виробництва. До таких напрямків відносяться:

- створення систем високої одиничної потужності (до 400 тис. Т / рік), що працюють за комбінованою схемою;
- розробка високоактивних вибірково діючих неплатинового каталізаторів окислення аміаку;
- можливо більш повне використання енергії стиснутих газів, що відходять і низькопотенціальної теплоти процесів шляхом створення повністю автономних енерготехнологічних схем;
- створення замкнутого обороту охолоджуючої води;
- вирішення проблеми очищення газів, що відходять з утилізацією оксидів азоту шляхом впровадження адсорбційно-десорбційної методу очищення на силікагелі і цеолітах;

максимально повне видалення залишків оксидів азоту з газів, що відходять з використанням в якості відновників горючих газів і аміаку.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						38
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОПИС СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ ПІД АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ

2.1 Опис схеми виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском

Виробництво розведеної азотної кислоти можна розділити на три основні групи:

- 1) виробництво під атмосферним тиском;
- 2) виробництво під підвищеним тиском;
- 3) комбіноване виробництво азотної кислоти (аміак окиснюють під атмосферним, а оксиди азоту переробляють у кислоту під підвищеним тиском).

Опис технологічної схеми виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском.

Для виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском потрібні аміак, вода, повітря. Всі компоненти ретельно очищені. Аміак, для очищення від каталітичної пилу, сторонніх газів і від олії (якщо були задля циркуляції газу були використані поршневі компресори) проходить установку синтезу. Ці домішки є отруйними для каталізаторів, що використовуються при перетворенні аміаку в оксид азоту при виробництві азотної кислоти.

Атмосферне повітря, що використовується при виробництві азотної кислоти, забирається на заводі або поруч з ним. Цей повітря забруднене газоподібними домішками і пилом. Для очищення повітря від сторонніх газів його зазвичай промивають в скрубєрі 1 водою для видалення механічних домішок, а потім фільтрують через тканинні фільтри 2. Підготовлений таким чином повітря, а також аміак подають в систему за допомогою вентилятора 3.

Перед надходженням в каталізатор газова суміш знову фільтрується завдяки поролітового або паперового фільтра 4, який розташований у верхній частині перетворювача 5, встановленого на котлі-утилізатори 6.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						39
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

У прямоточном котлі вода тече по змійовику, який при нагріванні перетворюється в пароводяну емульсію і розділяється на сепаратор на пару і воду. Пара з сепаратора через змійовик-перегрівник у верхній частині котла надходить в заводську систему. Температура пара становить 723 К, тиск - 1 МПа. При такій системі охолодження для азотистих газів їх температура знижується з 1100 до 430 К. Пізніше вони охолоджуються в двох послідовних холодильниках 7 і 8. Охолодження нітрозних газів – проводиться, як правило, у два прийоми: спочатку у швидкісному холодильнику, а потім у звичайному холодильнику-конденсаторі. Такій метод охолодження пов'язаний з необхідністю відведення з нітрозних газів частини реакційної води, яка не потрібна для процесу синтезу HNO_3 . У холодильнику 7 виділяється конденсат, що містить 2–3 % HNO_3 , у холодильнику 8 – конденсат, що містить уже 25 – 30 % HNO_3 .

Другий холодильник розміщують неподалік вентилятора 9, який подає нітрозні гази в абсорбційну систему. Охолоджені нітрозні гази переміщуються через абсорбційну систему, що містить шість-вісім колон 10. В останню за ходом газу колону протитечією подається вода. Вода, що застосовується для технологічних потреб, піддається спеціальній підготовці: відстою від механічних часток, фільтрування та хімічному очищенню від розчинених у ній солей. Знесолена вода поступає в колону абсорбції для поглинання оксидів азоту і отримання азотної кислоти. Кожна колона системи зрошується кислотою відповідної концентрації. Зрошувальна кислота циркулює за допомогою відцентрових насосів 14, які подають її в колони через водоохолоджувачі 13. Зазвичай кислоту видаляють з першої або другої колони в напрямку газу. Азотний вентилятор 9 втягує повітря в повітряну систему в заданій кількості, щоб у вихлопних газах вміст кисню підтримувався в межах 3,6-5,2%.

Ступінь поглинання оксидів азоту в колонах 1–6 кислої абсорбції становить 92–94 %. Залишки оксидів азоту поглинаються потім в лужних баштах 12 (VIII, IX). Щоб підвищити ступень окисненості NO до 50–60 % встановлюють порожнисту окиснювальну башту 11 (VII) між системами кислої та лужної абсорбції встановлюють порожнисту окиснювальну башту 11 (VII).

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						40
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Лужні абсорбери працюють за принципом протитечії: у другу за напрямком руху газів башту подається розчин соди (200–250 г/л) або вапняне молоко (80–100 г/л). Після виходу з цієї башти лужний розчин передається в першу за напрямком газу башту, де остаточно перероблюється в нітрит-нітратні луги.

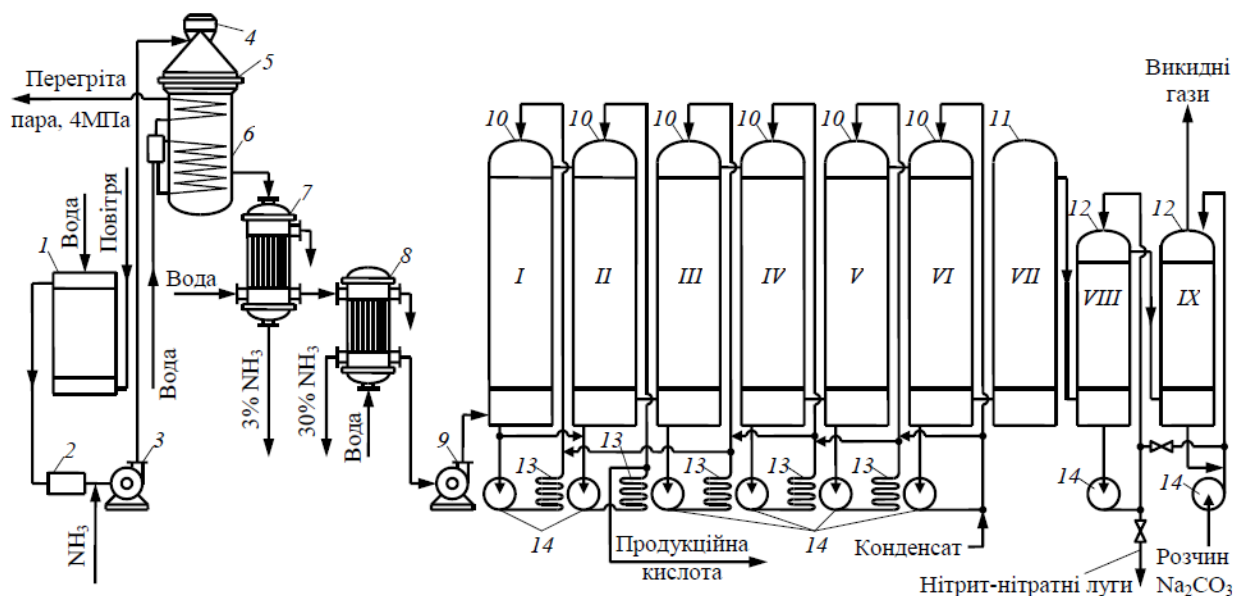


Рис.2.1 – Технологічна схема для виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском:

1 – скруббер; 2 – суконні фільтри; 3,9 – вентилятори; 4 – поролітовий фільтр; 5 – конвертор; 6 – котел-утилізатор; 7,8 – холодильники; 10 – абсорбційні башти; 11 – окисна башта; 12 – лужна башта; 13 – водяні холодильники; 14 – насоси

2.2 Аналіз фізико-хімічних основ процесу з точки зору автоматичного контролю виробництва

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском слід передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- витрата води, що надходить у скруббер 1,
- витрата повітря, що надходить у скруббер 1,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 1,
- витрата аміаку, що надходить у вентилятор 3,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 2,
- витрата води, що надходить у котел утилізатор 6,
- температура води на вході в котел утилізатор 6,
- витрата пари на виході з котла утилізатора 6,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 3,
- витрата розведеного аміаку на вході в холодильник 7,
- витрата води, що надходить у холодильник 7,
- температура води, що надходить у холодильник 7,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 4,
- концентрація NH_3 в конденсаті на виході з холодильника 7,
- температура розведеного аміаку на вході в холодильник 8,
- витрата розведеного аміаку на вході в холодильник 8,
- витрата води, що надходить у холодильник 8,
- температура води, що надходить у холодильник 8,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 8,
- концентрація NH_3 в конденсаті на виході з холодильника 8,
- температура розведеного аміаку на виході з холодильника 8,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 5,
- температура розведеного аміаку, що надходить в абсорбційні башти 10,

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						42
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 6,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 7,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 8,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 9,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 10,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 11,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 12,
- витрата розчину, що надходить у лужну башту 12,
- концентрація O_2 у викидних газах на виході з лужної башти 12,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 13,
- тиск у трубопроводі на виході відцентрового насосу 14,
- концентрація готової розведеної азотної кислоти.

А також технологічну сигналізацію таких параметрів:

- витрата води, що надходить у скруббер 1,
- витрата повітря, що надходить у скруббер 1,
- витрата аміаку, що надходить у вентилятор 3,
- витрата води, що надходить у котел утилізатор 6,
- температура води на вході в котел утилізатор 6,
- витрата пари на виході з котла утилізатора 6,
- витрата розведеного аміаку на вході в холодильник 7,
- витрата води, що надходить у холодильник 7,
- температура води, що надходить у холодильник 7,
- концентрація NH_3 в конденсаті на виході з холодильника 7,
- температура розведеного аміаку на вході в холодильник 8,
- витрата розведеного аміаку на вході в холодильник 8,
- витрата води, що надходить у холодильник 8,
- температура води, що надходить у холодильник 8,
- концентрація NH_3 в конденсаті на виході з холодильника 8,
- температура розведеного аміаку на виході з холодильника 8,
- температура розведеного аміаку на виході з вентилятора 9,

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						43
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- температура конденсату, що надходить в абсорбційну башту 10,
- температура розведеного аміаку, що надходить в абсорбційні башти 10,
- витрата розчину, що надходить у лужну башту 12,
- концентрація O_2 у викидних газах на виході з лужної башти 12
- концентрація готової розведеної азотної кислоти.

Норми технологічного режиму наведені в таблиці 1.

Таблиця 2.1. — Параметри контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	Трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
2	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, сигналізація
3	Повітря, Трубопровід 3	Витрата	-	Контроль, сигналізація
4	Аміак, трубопровід 11	Витрата	-	Контроль, сигналізація
5	Трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
6	Трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
7	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, сигналізація
8	Розведений аміак, трубопровід 28	Витрата	-	Контроль, сигналізація
9	Трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
10	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, сигналізація
11	Конденсат, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль, сигналізація
12	Розведений аміак,	Температура	-	Контроль,

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						44
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

	трубопровід 28			сигналізація
13	Розведений аміак, трубопровід 28	Витрата	-	Контроль, сигналізація
14	Конденсат, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль, сигналізація
15	Трубопровід 1	Тиск	-	Контроль, сигналізація
16	Вода, трубопровід 1	Витрата	-	Контроль, сигналізація
17	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
18	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
19	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
20	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
21	Готова продукція, трубопровід 29	Витрата	-	Контроль, сигналізація
22	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
23	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
24	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
25	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
26	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
27	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
28	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
29	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
30	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
31	Розведений аміак, трубопровід 28	Температура	-	Контроль, сигналізація
32	Конденсат, трубопровід 33	Витрата	-	Контроль, сигналізація
33	Нітрит-нітратні луги, трубопровід 31	Витрата	-	Контроль, сигналізація
34	Розведений аміак,	Тиск	-	Контроль,

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						45
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

	трубопровід 28			сигналізація
35	Розведений аміак, трубопровід 28	Тиск	-	Контроль, сигналізація
36	Розчин натрій-кар- бїду, Трубопровід 30	Витрата	-	Контроль, сигналізація
37	Вихідні гази, Трубопровід 32	Витрата	-	Контроль, сигналізація

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						46
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розробка схеми автоматизації

Схема автоматичного контролю процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском включає в себе ряд контурів контролю і сигналізації. До контурів контролю входять контури контролю витрати, рівня, вологості та температури.

Контур 1 контролює тиск у трубопроводі 1 та включає:

(1-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (1-2) – електроконтактні манометр; (1-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 2 контролює витрату води в трубопроводі 1 та включає:

(2-1) – діафрагма камерна; (2-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (2-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (2-4) – пневматична панель керування; (2-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 3 контролює витрату повітря в трубопроводі 3 та включає:

(3-1) – діафрагма камерна; (3-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (3-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (3-4) – пневматична панель керування; (3-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 4 контролює витрату суміші в трубопроводі 28 та включає:

(4-1) – діафрагма камерна; (4-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (4-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (4-4) – пневматична панель керування; (4-5) – пневмоелектричний перетворювач.

Контур 5 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(5-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (5-2) – електроконтактні манометр; (5-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						47
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур 6 контролює тиск у трубопроводі 1 та включає:

(6-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (6-2) – електроконтактні манометр; (6-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 7 контролює витрату води в трубопроводі 1 та включає:

(7-1) – діафрагма камерна; (7-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (7-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (7-4) – пневматична панель керування; (7-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 8 контролює витрату суміші в трубопроводі 28 та включає:

(8-1) – діафрагма камерна; (8-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (8-3) – прилад для вимірювання витрати, показувальний, інтегрувальний, місцевого розташування.

Контур 9 контролює тиск у трубопроводі 1 та включає:

(9-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (9-2) – електроконтактні манометр; (9-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 10 контролює витрату води в трубопроводі 1 та включає:

(10-1) – діафрагма камерна; (10-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (10-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний; (10-4) – пневматична панель керування; (10-5) – пневмoeлектричний перетворювач.

Контур 11 контролює витрату аміаку в трубопроводі 33 та включає:

(11-1) – діафрагма камерна; (11-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (11-3) – прилад для вимірювання витрати, показувальний, інтегрувальний, місцевого розташування.

Контур 12 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:

(12-1) – термоперетворювач опору платиновий; (12-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань; (12-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						48
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур 13 контролює витрату суміші в трубопроводі 28 та включає:

(13-1) – діафрагма камерна; (13-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (13-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструваль-
ний; (13-4) – пневматична панель керування; (13-5) – пневмoeлектричний пе-
ретворювач.

Контур 14 контролює витрату аміаку в трубопроводі 33 та включає:

(14-1) – діафрагма камерна; (14-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (14-3) – прилад для вимірювання витрати, показувальний, інтегроваль-
ний, місцевого розташування.

Контур 15 контролює тиск у трубопроводі 1 та включає:

(15-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропе-
редчею сигналу; (15-2) – електроконтактні манометр; (15-3) – прилад місцевий
для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 16 контролює витрату води в трубопроводі 1 та включає:

(16-1) – діафрагма камерна; (16-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (16-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструваль-
ний; (16-4) – пневматична панель керування; (16-5) – пневмoeлектричний пе-
ретворювач.

Контур 17 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:

(17-1) – термоперетворювач опору платиновий; (17-2) – Прилад місцевий для
вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань;
(17-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 18 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(18-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропе-
редчею сигналу; (18-2) – електроконтактні манометр; (18-3) – прилад місцевий
для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 19 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(19-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропе-
редчею сигналу; (19-2) – електроконтактні манометр; (19-3) – прилад місцевий
для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						49
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур 20 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(20-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (20-2) – електроконтактні манометр; (20-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 21 контролює витрату азотної кислоти в трубопроводі 29 та включає:

(21-1) – діафрагма камерна; (21-2) – безшкальний дифманометр-витратомір; (21-3) – прилад для вимірювання витрати, показувальний, інтегровальний, місцевого розташування.

Контур 22 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(22-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (22-2) – електроконтактні манометр; (22-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 23 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(23-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (23-2) – електроконтактні манометр; (23-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 24 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(24-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (24-2) – електроконтактні манометр; (24-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 25 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(25-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередчею сигналу; (25-2) – електроконтактні манометр; (25-3) – прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 26 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:

(26-1) – термоперетворювач опору платиновий; (26-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань; (26-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						50
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур 27 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:
(27-1) – термоперетворювач опору платиновий; (27-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань;
(27-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 28 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:
(28-1) – термоперетворювач опору платиновий; (28-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань;
(28-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 29 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:
(29-1) – термоперетворювач опору платиновий; (29-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань;
(29-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 30 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:
(30-1) – термоперетворювач опору платиновий; (30-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань;
(30-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 31 контролює температуру суміші в трубопроводі 28 та включає:
(31-1) – термоперетворювач опору платиновий; (31-2) – Прилад місцевий для вимірювання температури, безшкальний, з дистанційною передачею показань;
(31-3) – автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад.

Контур 32 контролює витрату конденсату в трубопроводі 33 та включає:
(32-1) – діафрагма камерна; (32-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (32-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструваль-
ний; (32-4) – пневматична панель керування; (32-5) – пневмоелектричний пе-
ретворювач.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		51

Контур 33 контролює витрату нітрит-нітратних лугів в трубопроводі 31 та включає:

(33-1) – діафрагма камерна; (33-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (33-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструваль-
ний; (33-4) – пневматична панель керування; (33-5) – пневмоелектричний пе-
ретворювач.

Контур 34 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(34-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропе-
редчею сигналу; (34-2) – електроконтактні манометр; (34-3) – прилад місцевий
для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 35 контролює тиск у трубопроводі 28 та включає:

(35-1) – манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропе-
редчею сигналу; (35-2) – електроконтактні манометр; (35-3) – прилад місцевий
для вимірювання тиску з контактним пристроєм.

Контур 36 контролює витрату в трубопроводі 30 та включає:

(36-1) – діафрагма камерна; (36-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (36-3) – прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструваль-
ний; (36-4) – пневматична панель керування; (36-5) – пневмоелектричний пе-
ретворювач.

Контур 37 контролює витрату викідних газів в трубопроводі 32 та вклю-
чає:

(37-1) – діафрагма камерна; (37-2) – безшкальний дифманометр-витра-
томір; (37-3) – прилад для вимірювання витрати, показувальний, інтегроваль-
ний, місцевого розташування.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						52
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Постановка задачі до розробки схеми дистанційного керування і аварійного захисту електродвигунів технологічного процесу.

На виробництвах робота насосів контролюється технічним персоналом згідно роботи певного процесу. Розробка системи аварійного захисту та технологічних блокувань для технологічного процесу є важливою та потребує ретельності при встановленні електродвигунів. В багатьох технологічних обладнаннях на різних підприємствах використовують електродвигуни. Двигуни мають як електричну, так і механічну систему захисту.

При натисненні кнопки включення електродвигуна повинен спрацювати магнітний пускач і замкнутися нормально розімкнутий контакт, який замикає ланцюг цього магнітного пускача. Замикаються також контакт сигналізації включення магнітного пускача і три контакти живлення електродвигуна. У той же час розмикається нормально замкнутий контакт сигналізації виключення магнітного пускача. Захист електродвигуна передбачає термічний захист, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

Система автоматичного управління електродвигунами процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском:

- автоматичне відключення мотору від живлення під час аварії або поломки, та технологічне блокування інших електродвигунів;
- закриття регулювальних клапанів для зупинки подачі сировини, поки не відновиться робота електромотору та не створиться нормальний тиск для подальшого продовження подачі сировини;
- нормальну роботу процесу виробництва; захист електродвигуна, що дозволяє відключити двигун при перегріві, а також плавкий запобіжник.

При розробці схеми аварійного захисту електромоторів треба з'ясувати, яка плата КБЗ підключена в приладі ІТМ-11. Тому що плата КБЗ 17-К01 має контакти у вигляді твердотілих реле, які дозволяють підключити дискретний сигнал у вигляді постійного струму і величиною 24V.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						53
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Опис роботи принципової електричної схеми з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань

Принципова електрична схема з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань.

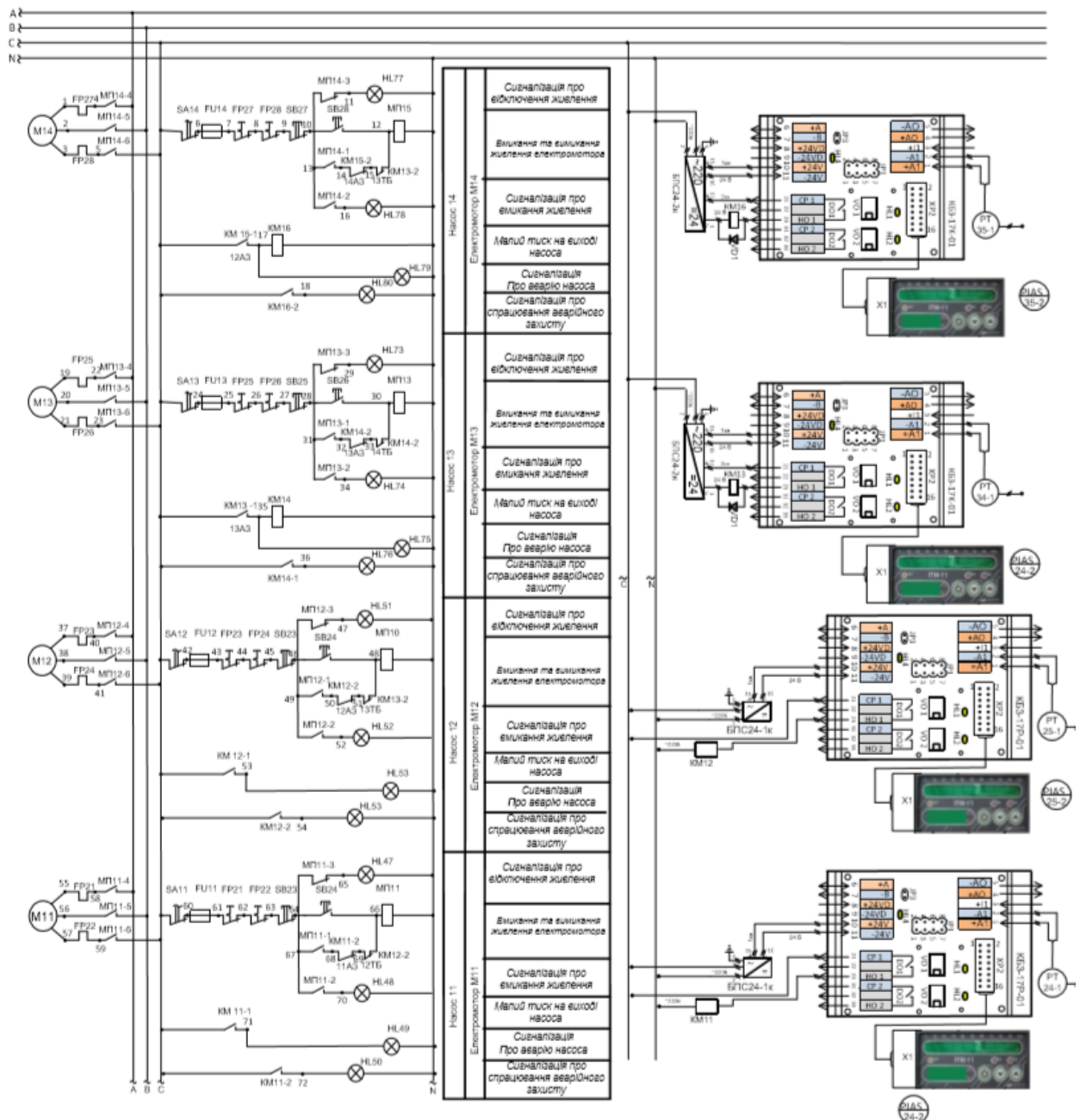


Рис.2.2 – Принципова електрична схема з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском

Під час роботи відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього крильчатка зупиняється і зупиняється електродвигун, що може спричинити вихід його з ладу. У цьому випадку (в разі аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист. Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу. Мікропроцесорний прилад ІТМ-11, в якому використовується твердотільне реле, через контакт якого не можна підключати напругу 220 В. Рекомендується через твердотіле реле ІТМ-11 під'єднувати електромагнітне реле, яке працює на напрузі 24 В від джерела постійного струму. Враховуючи цю особливість в схемах електрозахисту треба використовувати два електромагнітних реле.

Розглянемо роботу електромоторів на прикладі одного МП14. При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт КМ15-1 в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ15. Реле КМ16 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ16-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НL80, яка показує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ15-3 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МП14. Після проведення чищення і ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М14 включається за допомогою кнопки SB28. Так як насос миттєво робочий тиск не набирає, кнопку SB28 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не погаснуть червоні сигнальні лампочки НL79, НL80, якщо ці лампочки погасли, кнопку SB28 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП14 проходить через контакт МП14-3. Тоді ІТМ-11 виробляє дискретний сигнал, тобто на платі КБЗ 17Р-01 контакт нормально розімкнений замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НL22 і подається струм на обмотку електромагніта КМ14.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						55
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Реле аварійного захисту КМ14 спрацьовує та інформує про аварійний сигнал, за допомогою якого повинно вимикатись живлення електродвигуна М14.

Плата КБЗ-17Р-01 підключена до мережі через блок живлення БПС 24-1К, який перетворює змінний сигнал мережі 220В в постійний уніфікований сигнал 24В. Через Індикатор НЛ79, НЛ80 показують спрацювання аварійного захисту падіння(підвищення) тиску в трубопроводі.

2.6. Опис роботи системи з аварійного захисту з електромоторів технологічного процесу виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском.

На принциповій електричній схемі показані схеми дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для електромоторів. Всі ланцюги управління побудовані за типовим варіантом.

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього зупиняється крильчатка і електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізається. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист.

Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт в приладі і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ15. Реле КМ15 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ16-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ80, яка вказує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ16-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МП14. У результаті цього живлення електродвигуна М14 при аварії вимикається.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						56
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Після проведення ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна М14 включається за допомогою кнопки SB28. Так як насос миттєво не набирає робочий тиск, кнопку SB28 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не згасне червона сигнальна лампочка HL78, якщо ця лампочка згасла, кнопку SB28 можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП14 проходить через контакти МП14-1 і КМ16-2.

2.7. Опис роботи схеми технологічної сигналізації

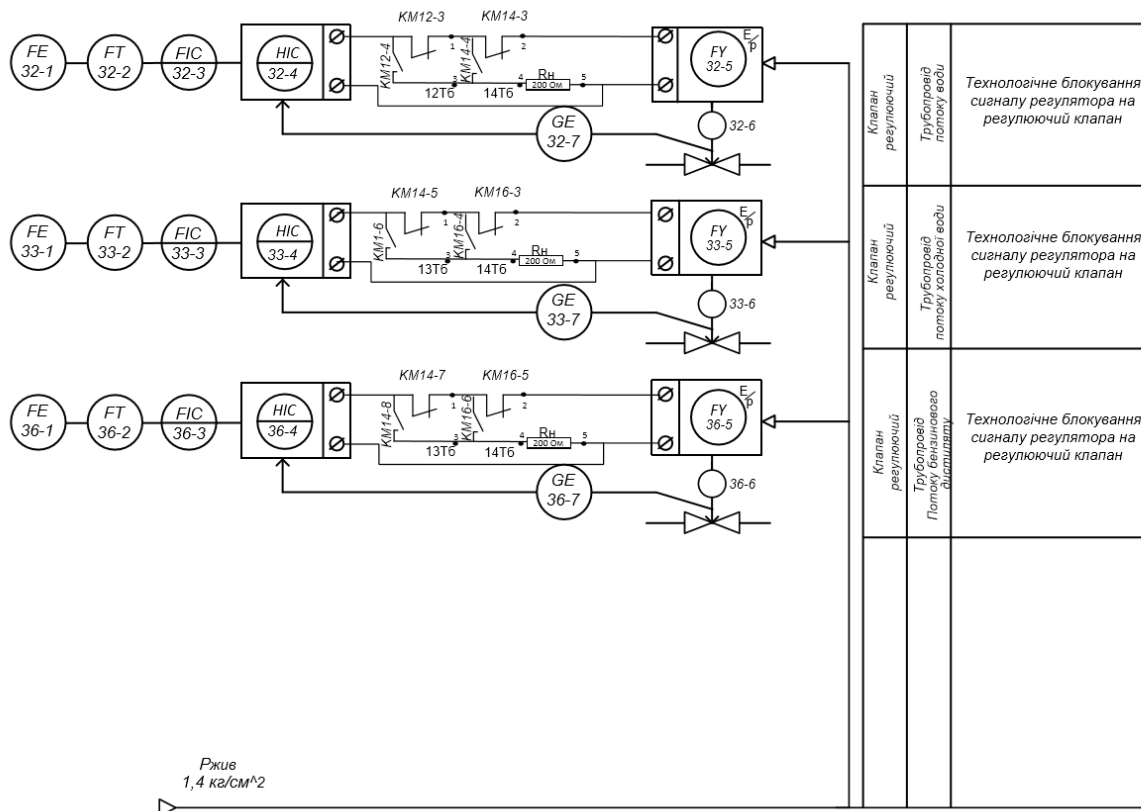
Технологічна сигналізація в процесі призначена для оповіщення оператора, що слідкує за величиною параметрів технологічного процесу про ненормальну зміну вимірюваного параметру, за допомогою сигнальних лампочок. Наприклад, це може бути сигналізація про падіння рівня тиску у трубопроводі або про перевищення температури в апараті. Технологічна сигналізація необхідна для того, щоб наглядно було видно де саме сталася поломка і відповідно, де її потрібно ліквідувати в найкоротші терміни. Важливу роль відіграють схеми технологічної сигналізації, адже за допомогою них можна відразу побачити, за що відповідає та, чи інша лампочка і в якому випадку вона спрацьовує, який контакт замикається для того, щоб лампочка загорілася.

На принциповій електричній схемі показані схеми технологічної сигналізації для двох параметрів. Всі ланцюги сигналізації побудовані за відповідним варіантом.

Сигналізація спрацьовує при досягненні максимального чи мінімального значення контролюваного параметру. При мінімальному значенні реле КМ17 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ17-1 (нормально замкнений) розмикається і гасне лампочка HL48, а контакт КМ17-2 (нормально розімкнутий) замикається і загорається лампочка HL17. При максимальному значенні реле КМ18 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ18-1 (нормально замкнений) розмикається і гасне лампочка HL18, а контакт КМ18-2 (нормально розімкнутий) замикається і загорається лампочка HL19.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						57
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8. Технологічні блокування



					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						58
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Аварійний захист передбачає відключення моторів: М13, М14 вони ви-микаються в результаті спрацьовування реле зазначених на схемі. Блокування спрацьовує, коли замикається контакт КМ15-2 - при малому тиску в трубопроводі після насоса, загоряються сигнальні лампочки НL79 і НL80, які позначають що впав тиск і спрацювало реле КМ16. Розмикається інші контакти і клапани нормально відкриті закриваються, а нормально закриті відкриваються. Аналогічно працюють інші ланцюги блокувань електродвигунів насосів. Коли виникає аварія у відцентрованому насосі і формується сигнал аварійного захисту електродвигуна за допомогою аварійного сигналу, в цьому випадку повинна спрацювати система технологічних блокувань, яка повинна відключити вихідний сигнал регулятора, тобто регулюючі клапани повинні повністю закрити трубопроводи.

Блокування можуть спрацьовувати в декількох випадках:

1. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М13.
2. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М14.

2.9.Опис роботи схеми технологічних блокувань.

Блокування спрацьовує коли замикається контакт приладу, наприклад, (поз. 34-2), при малому тиску в трубопроводі після насоса. В наслідок замикається контакт КМ13-1 реле КМ13 (Uжив=220В) загорається сигнальна лампочка НL76 далі напруга подається на реле КМ14. Після цього замикається контакт реле КМ14-8, а КМ14-7 розмикається (Uжив=220В) і живлення на прилад 36-5 не подається.

Для того, щоб прилади та пристрої було правильно підключено треба розробити монтажну-комутаційну схему, але для цього потрібно виконати удосконалення та розгорнення схеми. При розробці кінцевого варіанту схеми зобразимо плати підключення та зовнішній вигляд відповідних приборів.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						59
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Загальні поняття

Автоматизація виробництва - етап машинного виробництва, за якого максимальна кількість функцій робиться за допомогою автоматичних пристроїв, а не людиною. При автоматизації виробництва процеси отримання, перетворення, передачі і використання енергії, матеріалів і інформації виконуються автоматично.

Повна автоматизація є складовою частиною технічного процесу і забезпечує найвищу техніко-економічну ефективність, тому одним з найважливіших критеріїв доцільності проведеної автоматизації повинні бути результати попередніх економічних досліджень.

Відмінною особливістю будь-якого машинного виробництва є часткова автоматизація. В рамках розгляду конкретної технологічного процесу управління зводиться до реалізації впливів засобів праці на предмет праці в заданій послідовності. Визначення цієї послідовності і є визначення закону управління даним процесом. Для простих технологічних процесів, що відбуваються завжди при одних і тих же умовах, закон управління може бути представлений у вигляді цілком певної і незмінною програми рухів знарядь праці щодо оброблюваного матеріалу - предмета праці.

Комплексна автоматизація - системний охоплення автоматизації виробничих і економіко-адміністративних процесів в рамках агрегату, окремого технологічного процесу, цеху, підприємства і більш високих виробничих і господарських формацій. Комплексна автоматизація базується на досягнутому рівні розвитку кібернетики і, зокрема, її розділів - технічної кібернетики та економічної кібернетики.

Автоматизація грає вузлову роль в нашому суспільстві. Різноманітні автоматичні пристрої дозволяють збільшити випуск продукції в розрахунку на одного працюючого, щоб збалансувати інфляційні витрати і зростання заробітної плати. Тому в промисловості використовується термін «продуктивність»

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						60
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

(в першу чергу - продуктивність праці) - відношення випуску продукції до реальних витрат в розрахунку на одну годину робочого часу. Крім того, промислові підприємства прагнуть постійно покращувати споживчі якості продукції, що випускається, що без розвиненої автоматизації стає дуже скрутній, а іноді просто нерозв'язним завданням. Таким чином, автоматизація дозволяє збільшити продуктивність і підвищити якість продукції, що випускається.

Технологічний процес, що протікає в регульованому об'єкті, в загальному випадку характеризується кількома регульованими величинами. Відповідність між продуктивністю і навантаженням агрегату (об'єкта) характеризує якісні показники технологічного процесу, і тому завдання регулювання агрегату зазвичай полягає в підтримці заданих значень регульованих величин. Підтримки заданих значень регульованих величин зводиться до своєчасного впливу на відповідні регулюючі органи.

У більшості випадків промислові установки є складними регульованими об'єктами з декількома регульованими величинами. Такі об'єкти можна розділити на ряд простих. Надалі під терміном «регульований об'єкт» ми будемо розуміти елементарний об'єкт, що характеризується однією вихідний регульованою величиною і володіє одним регулюючим органом.

Таке уявлення дозволяє описати регульовану величину як деяку функцію, залежну від відповідних впливів. Тоді сам об'єкт регулювання являє собою модель «вхід - вихід», де «виходом» є місце контролю регульованої величини, а «входом» - місце для вкладання регулюючого впливу. Крім регулюючого впливу, на регульовану величину впливають впливи, викликані особливостями конкретного технологічного процесу. Тому в загальному випадку в об'єкт регулювання можуть бути введені додаткові входи, що дозволяють при наближити опис регульованої величини до реального технологічного параметру з заданим ступенем деталізації.

Входи об'єкта вважаються різними, якщо рівноваги вплив однієї і тієї ж форми (наприклад, стрибкоподібне), прикладена до цих входів, дає різні форми перехідного процесу. Кілька виходів можуть геометрично перебувати в

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						61
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

одній і тій же точці (наприклад, тиск і температура робочого тіла на виході лінійної ділянки в трубопровідний транспорт).

Динамічні властивості регульованих об'єктів, як і інших елементів систем регулювання, можуть бути представлені в різних формах.

Точного визначення поняття об'єкта в загальному випадку не існує. Воно завжди протиставляється іншому, двойственному йому поняттю «суб'єкт». Суб'єкт має здатність сприймати, перетворювати і використовувати інформацію про об'єкт. Така здатність називається інтелектом. Об'єкт - одне з найбільш загальних понять. Важко навести приклад того, що не є об'єктом. Все, що осягається, експлуатується або створюється людиною, є об'єкти. Об'єкти можуть бути реальними і ідеальними, зокрема математичні, в загальному випадку на їх природу ніяких вимог не накладається.

Серед усього розмаїття об'єктів виділяються так звані системи, які представляють собою сукупність елементів (об'єктів), що знаходяться у відносинах і зв'язках один з одним і утворюють при цьому певну цілісність і єдність.

Будь-який об'єкт має певні властивості, що проявляються при взаємодії з іншими об'єктами. Якщо зафіксувати деяку систему і в якості одного з її елементів помістити той чи інший об'єкт, то система буде якимось чином реагувати на ці об'єкти.

Об'єктом є все те, про що можлива інформація, тобто об'єктом є все те, що є елементом деякого безлічі.

Об'єкт, який представляє собою сукупність взаємопов'язаних елементів (об'єктів), називається системою. Будь-яка система має властивість структурності, яка визначається тільки взаємозв'язками між елементами системи і зберігається, можливо, з деякою ненульовий ймовірністю, при заміні елементів системи на їх замітники.

Будь-який об'єкт є елементом одночасно для багатьох систем.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						62
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Основні принципи побудови адаптивних систем управління

Однією з центральних завдань теорії автоматичного управління є завдання стабілізації. Вона істотно ускладнюється при неповній інформації і невизначеності в поведінці об'єкта управління. При класичному виконанні завдання стабілізації виникає необхідність в підстроювання пристроїв управління в процесі функціонування, що є неприйнятним для динамічних процесів. Виходом зі сформованої ситуації є створення таких систем, які б автоматично пристосовувалися до виникаючих умов при управлінні тим чи іншим технологічним процесом. Подібні системи отримали назву «адаптивні».

Один з перших прикладів адаптивного управління привели Дрейпер і Лі. Вони розглянули систему управління, здатну оптимізувати роботу двигуна внутрішнього згоряння, не дивлячись на невизначеність виду його робочих характеристик. Такий тип системи управління, який автоматично шукає оптимальну робочу точку, називається оптимізує системою управління, або (іноді) системою, що підтримує максимум.

Інший важливий клас адаптивних систем управління був введений Уїтекером і ін. Уїтекер і його колеги використовували модель поведінки ідеальної системи для отримання сигналів помилки, обумовлених відмінністю дійсного поведінки системи від необхідного; ці сигнали потім служили для модифікації параметрів керуючого пристрою таким чином, щоб, наскільки це можливо, підтримувати ідеальну поведінку, незважаючи на точно невідому і змінюється динаміку системи. Системи управління такого типу називаються адаптивними системами управління з еталонною моделлю. Вже з 1959 р ці системи застосовувалися в авіаційних системах управління польотами.

У 1960 році Лі і Вандер Велді описали ще один тип адаптивних систем управління, що працюють за принципом автоматичної компенсації мінливості параметрів за допомогою автоколебаний в замкнутому контурі управління. Система такого типу називається самоосцилюючої адаптивною системою. Кілька схожий підхід до побудови адаптивних систем був запропонований

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						63
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

академіками Б.Н. Петровим і С.В. Ємельяновим. Метод заснований на інваріантності траєкторії системи по відношенню до значень її параметрів в разі, коли керуючий вплив визначається переключающою функцією і реле. Поведінка системи при цьому характеризується рухом по переключаючій поверхні і називається ковзаючим режимом. Адаптивні системи такого типу називаються системами зі змінною структурою.

Методи побудови адаптивних систем, розглянутих вище, обмежені рамками детермінованого підходу. Інакше кажучи, в цих методах не використовуються імовірнісні величини. Невизначеність в цьому класі задач описується детермінованим чином, наприклад вводиться внутрішня невизначеність значень параметрів.

Теорія адаптивного управління базується на різних евристичних або полувісних концепціях. Вона відкриває інший шлях вирішення задачі управління в умовах невизначеності. Складність полягає в тому, що ці системи дуже різноманітні, неоднотипних і часом необов'язкові.

Без перебільшення можна сказати, що сьогодні процеси виникнення регуляторних механізмів досліджені недостатньо. У всіх випадках поява нового методу синтезу швидше зобов'язана винаходу, ніж теорії. Тому сучасна теорія управління рухається в області пошуку загальних принципів синтезу, що дозволяють в конкретних обставинах як би автоматично отримувати необхідний закон управління. Наближенням до вирішення цієї проблематики може стати теорія систем зі змінною структурою. Справа в тому, що при створенні пристрою, що управляє, що базується на принципах перестраївості, існує можливість наділити його динамічної бібліотекою алгоритмів управління. Тут можна провести аналогію з класичним регулятором (див. Рис. 3.1, а), який має фіксовану структуру, що закладалася проектувальником на відповідній стадії створення системи автоматичного управління виходячи з характеристик об'єкта, отриманих тим чи іншим чином.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		64

У пристроях управління з перебудовується структурою (див. Рис. 3.1, б) є кілька фіксованих алгоритмів A_i ($i=1,2, \dots, n$), вибір яких відбувається за певним набором правил про стан об'єкта, при безпосередньому функціонуванні всієї автоматичної системи регулювання.

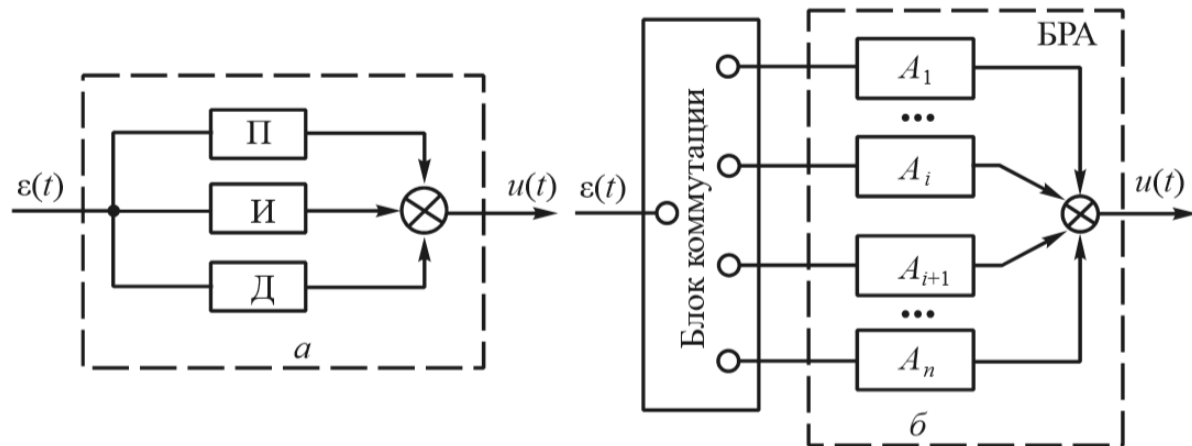


Рис.3.1 – Узагальнена внутрішня структура регулятора: а - ПІД; б - з перебудованою структурою

Як видно з рис. 3.1, керуючий пристрій з перебудовується структурою може без праці перебудуватися в класичний регулятор при відповідних наборах правил (наприклад, $A_1 \rightarrow k_p$, $A_2 \rightarrow k_i/p$, $A_3 \rightarrow k_d \cdot p$), помилка регулювання подається на перші три канали одночасно), але існує також і можливість отримання нових властивостей, які не притаманні жодній із фіксованих структур.

Таким чином, можливість відносно простими засобами поліпшити динаміку систем автоматичного регулювання, використовуючи принципи перебудованих структур, свідчить про зростаючий інтерес до цього класу систем і є, мабуть, дуже перспективним напрямком.

3.3 Технологічні процеси як об'єкти керування

Поняття «технологічний процес» надалі буде використовуватися нами в широкому сенсі і включати як безпосередні процеси виробництва певного продукту, так і процеси забезпечення нормального функціонування. Таке уявлення дає можливість з єдиної точки зору підійти до вирішення завдання управління процесом виробництва певного продукту в цілому і завдань управління окремими технологічними агрегатами.

Це уявлення базується на системному підході, на комплексному вирішенні завдань забезпечення найкращого в якомусь сенсі їх функціонування. Застосування системного підходу необхідно, оскільки технологічні процеси в даний час представляють собою складні об'єкти управління з великою кількістю вхідних і вихідних змінних. Складні нелінійні взаємозв'язки між змінними, розподіленість в просторі, їх нестационарність, високий рівень виробничих шумів, недостатня апріорна інформація про закономірності перебігу процесу та інші причини створюють значні труднощі в реалізації адекватних моделей цих об'єктів; часто доводиться безперервно уточнювати модель під час функціонування технологічного об'єкта. Вузька пристосованість до виконання певних видів робіт та їх розчленування на ряд взаємопов'язаних операцій зазвичай забезпечують високу продуктивність технологічних процесів.

Систему управління окремими технологічними агрегатами зазвичай розглядають як систему управління нижнього рівня в ієрархічній структурі управління технологічним процесом. Така система повинна забезпечувати оптимальне по заданому критерію функціонування технологічного об'єкта. Критерій оптимальності для даного об'єкта задається системою управління технологічного процесу в цілому. В результаті здійснення технологічного процесу над певними властивостями вхідної сировини отримують вихідний продукт з іншими властивостями. Для того щоб можна було абстрагуватися від конкретних уявлень вхідних і вихідних властивостей продукту, а також характеристик технологічного процесу або параметрів, що характеризують умови протікання

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						66
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічного процесу, необхідно відволіктися від конкретної хімічної, фізичної, технологічної природи цих характеристик. Це потрібно зробити тому, що для побудови загальної теорії управління технологічними процесами необхідно їх представляти як об'єкти управління, і для цього повинен бути використаний мову теорії управління.

Використання загальних методів представлення об'єктів в теорії управління призводить в найпростішому випадку до наступного поданням технологічного процесу у вигляді одновимірного об'єкта (рис. 3.2), на вході якого діє змінна $y(t)$, що характеризує якоєлібо властивість сировини, а на виході маємо змінну $x(t)$, що характеризує будь-яку властивість готового продукту або напівфабрикату.

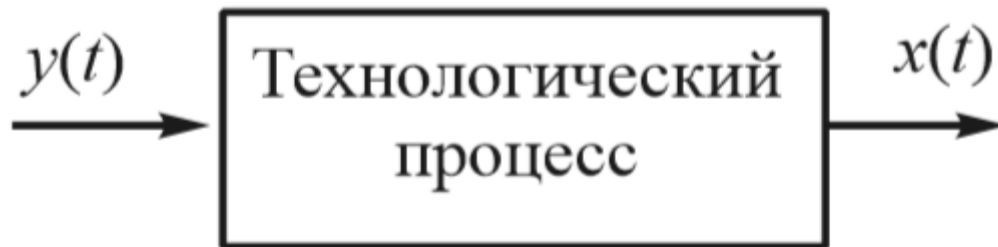


Рис. 3.2 – Структурна схема одновимірного технологічного процесу

Сучасний технологічний процес представляється у вигляді багатовимірного об'єкта (рис. 3.3).



Рис. 3.3 – Структурна схема багатовимірного технологічного процесу з виділенням параметрів z , що характеризують хід процесу

На вхід об'єкта діє векторна змінна $Y(t)$ з складовими $y_1(t), \dots, y_n(t)$. До таких змінних відносяться всі властивості (хімічний склад, розміри, механічні властивості, швидкість подачі, вартість і т.д.) сировини або заготовок, які використовуються на даному технологічному об'єкті. Величини, що характеризують умови протікання технологічного процесу, позначені на рис. 3.3 через векторну функцію $Z(t)$ з складовими $z_1(t), \dots, z_n(t)$. Значення деяких характеристики ходу технологічного процесу: температура, тиск, швидкість, подача, число оборотів, продуктивність і т.д. Вихідні величини описуються вектором

$$X(t) = \{x_1(t), \dots, x_n(t)\}.$$

Цей вислів характеризує властивості отриманого продукту або напівфабрикату - хімічний склад, розміри, кількість, вартість і т.д.

Розмірність векторів $Y(t)$, $X(t)$ і $Z(t)$ дуже велика, і врахувати всі їх складові принципово неможливо. Отже, при загальному розгляді немає необхідності розділяти змінні $Y(t)$ і $Z(t)$, їх зазвичай об'єднують в групу вхідних змінних.

В результаті багатовимірний технологічний процес може бути представлений структурною схемою (рис. 3.4), кожна з незалежних вихідних змінних $x_i(t)$, $i = 1, \dots, m$, визначається всіма вхідними змінними $y_1(t), \dots, y_n(t)$. Тоді для опису об'єкта необхідно мати m операторів A_i :

$$x_i(t) = A_i \{y_1(t), \dots, y_n(t)\}.$$

Кожен вираз оператора залежить від обраної моделі, яка може бути представлена у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь, системи рівнянь в приватних похідних, інтегральних або інтегро-диференціальних рівнянь та ін. Вибір моделі в основному визначається специфікою розв'язуваної задачі.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		68



Рис. 3.4 – Структурна схема багатовимірного технологічного процесу

Класифікація об'єктів зазвичай проводиться в залежності від способів подання оператора і вхідних і вихідних змінних. Вхідні і вихідні змінні можуть бути як детермінованими, так і випадковими.

Детермінованою моделлю об'єкта називається модель, оператор якої детермінований, тобто встановлює однозначну відповідність між вхідними і вихідними змінними.

Стохастичною моделлю об'єкта називається модель, відповідний оператор якої є випадковим. Вихідна величина стохастичного об'єкта завжди випадкова, навіть при наявності детермінованих вхідних змінних.

Всякий процес управління може включати реалізацію наступних складових.

1. Отримання інформації про стан об'єкта шляхом контролю вихідної змінної і визначення заданих вимог, що пред'являються до її значенням.
2. Обробка інформації про стан вихідного параметра і порівняння отриманого результату із завданням.
3. Прийняття рішень про модифікацію стану об'єкта і вироблення алгоритму управління УУ.

Під алгоритмом функціонування УУ розуміється точне розпорядження порядку виконання УУ операцій з управління об'єктом управління (ОУ).

Постійно взаємодіючи з ОУ (рис. 3.5), УУ виробляє послідовність дій 1 $q_i \in \{q_1, \dots, q_k\}$ на ОУ залежно як від сигналів $p_i \in \{p_1, \dots, p_k\}$, що надходять в УУ від ОУ і характеризують його стан, так і від зовнішніх сигналів $r_i \in \{r_1, \dots, r_k\}$, що надходять в УУ з інших джерел інформації.

4. Відпрацювання виконавчими органами впливу на об'єкт згідно з обраними законам управління.

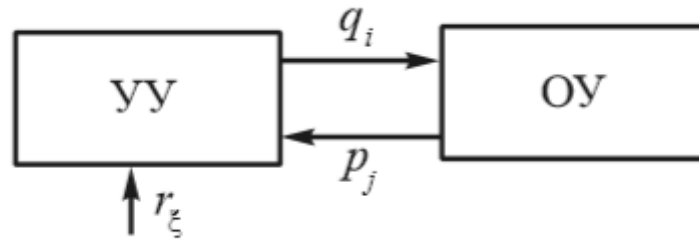


Рис. 3.5 – Структурна схема взаємодії ОУ і УУ

Реальні технологічні процеси як об'єкти управління в більшості нестационарні, нелінійні, багатовимірні, володіють багатьма внутрішніми зворотними зв'язками, у яких невелика або відсутня зовсім апріорна інформація про форму та ступеня взаємозв'язку між змінними в динаміці в реальних умовах експлуатації. Даний факт значно ускладнює отримання адекватного (ізоморфного) математичного опису технологічних процесів як об'єктів управління.

3.4 Математичний опис систем автоматичного керування технологічними процесами та поняття фазового простору

Сукупність фізичних пристроїв, які характеризуються тим, що протікають в них процеси однозначно визначаються доданими зовнішніми впливами, взаємними зв'язками між пристроями і початковими їх поєднаннями (початковими умовами), називається динамічною системою.

Це визначення говорить про те, що ми маємо справу з об'єктами або фізичними процесами, що описуються системою диференціальних рівнянь такого вигляду:

[illegible]

де всі функції $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ в загальному випадку нелінійні, безперервні, обмежені і мають обмежені приватні похідні по x_i в розглянутій замкнутій області змінних t, x_1, \dots, x_n . Тут час t є незалежною змінною, а x_1, x_2, \dots, x_n - вихідними змінними системи, що підлягають визначенню.

У загальному випадку система рівнянь є нелінійною з зосередженими або розподіленими параметрами, що змінюються в процесі випадковим чином безперервно або дискретно.

Серед усього різноманіття динамічних систем будемо розглядати тільки лінійні системи з зосередженими параметрами. Такі системи описуються в загальному вигляді лінійними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами:

[illegible]

Тут функції $y_1(t), \dots, y_n(t)$ описують задані обурення (вхідні сигнали), прикладені до різних входів системи, а коефіцієнти a_{ij} визначають фізичні параметри системи або їх комбінації. У разі, якщо система має один вхідний сигнал і один вихідний, вона приводиться до одного рівняння n -го порядку:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n x_{\text{вих}}}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_{\text{вих}}}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{d^1 x_{\text{вих}}}{dt^1} + a_0 x_{\text{вих}} \\ = b_m \frac{d^m x_{\text{вх}}}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_{\text{вх}}}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{d^1 x_{\text{вх}}}{dt^1} + b_0 x_{\text{вх}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Або в операторній формі

$$W(p) = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}, m < n \quad (3.4)$$

У роботі будемо розглядати клас об'єктів, що описуються передавальними функціями виду

$$WW(p) = \frac{k \exp(-\tau p)}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}, T_1 > 2T_2 \quad (3.5)$$

оскільки велика кількість технологічних об'єктів або описується передавальними функціями першого або другого порядку, з запізненням або без, або їх динамічні характеристики можуть бути апроксимувати цими функціями. Впливає це з того, що функцію 3.5) можна розділити на дві частини:

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) = W_1(p) \exp(-\tau p) \quad (3.6)$$

а передавальне функцію $W_2(p) = \exp(-\tau p)$, в свою чергу, можна розкласти в ряд Паде четвертого порядку для подання у вигляді відношення поліномів:

$$W_2(p) = \frac{\tau^4 p^4 - 20\tau^3 p^3 + 180\tau^2 p^2 - 840\tau p + 1680}{\tau^4 p^4 + 20\tau^3 p^3 + 180\tau^2 p^2 + 840\tau p + 1680} \quad (3.7)$$

Отже, при наявності ланки запізнювання порядок передавальної функції зростає на k раз, де k - порядок розкладання експоненційною функції в ряд Паде. На рис. 3.6 наведені приклад перехідної характеристики об'єкта з запізненням і аппроксимируючі криві при заміні передавальної функції транспортного запізнювання поруч Паде k -го порядку.

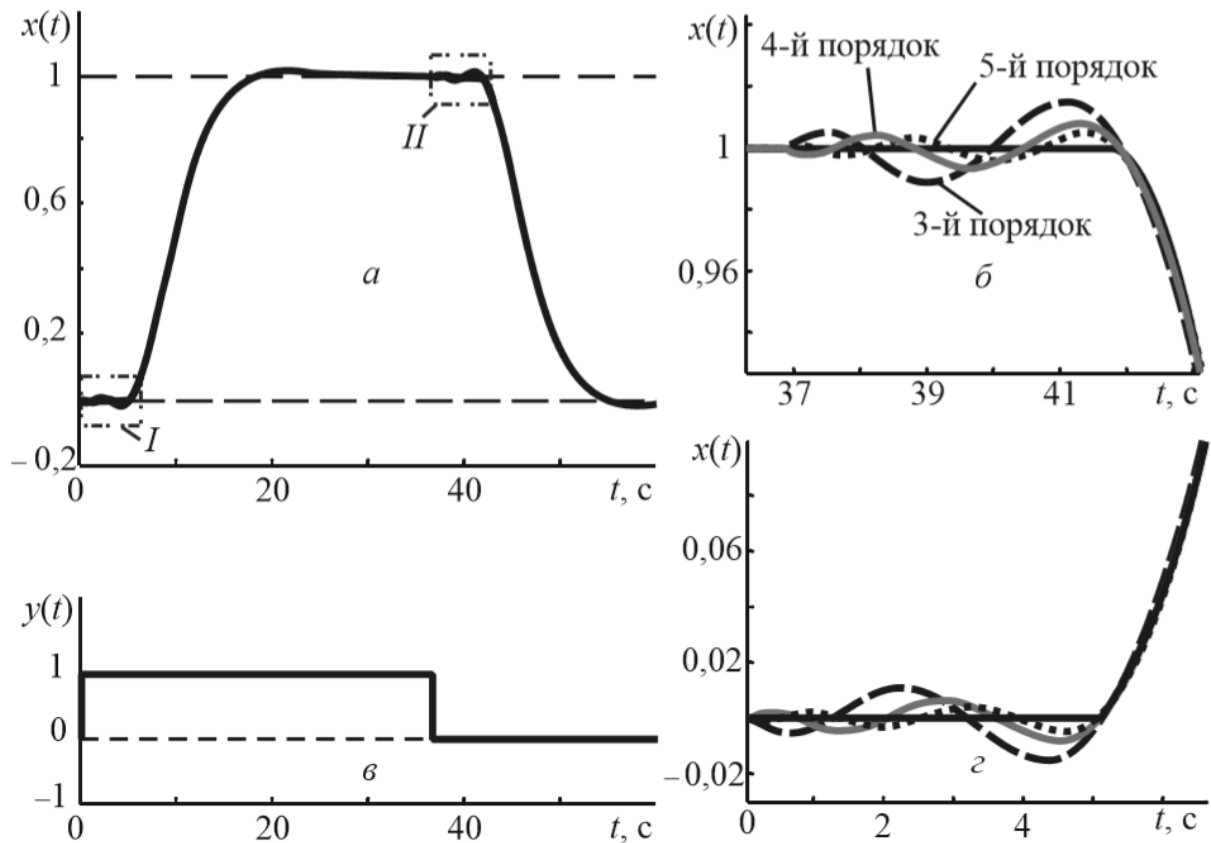


Рис. 3.6 – Приклад заміни передавальної функції ланки транспортного запізнювання поруч Паде: а - вихідна величина об'єкта; б - ділянка II з «а» в збільшеному вигляді; в - вхідна величина об'єкта; г - ділянку I з «а» в збільшеному вигляді

Як уже зазначалося, функцією (3.5) описується велика кількість всіляких технологічних об'єктів: технологічні резервуари, підключені через опір до магістрального трубопроводу під тиском, різні технологічні параметри для доменної печі. Прикладами двуместних об'єктів ($T_2 \neq 0$) можуть служити два ступені пароперегрівачів барабанного парового котла, а також багато інших об'єктів.

Таким чином, обрана передавальна функція описує поведінку досить великого класу технологічних об'єктів управління.

Рішення системи рівнянь (3.1) при заданих початкових умовах дає можливість для кожної координати стану визначити описує її функцію часу $x_i(t)$, а процес, що спостерігається в системі, зобразити у вигляді лінії в n-вимірному просторі координат стану, для якої час t є параметром точки кривої, що відповідає рівнянню $x(t)$, званої зображує точкою.

Геометричне місце зображують точок при зміні часу називається траєкторією процесу в просторі станів.

При розгляді автономних систем, не схильних до залежним від часу зовнішніх впливів, простір станів зазвичай називають фазовим простором, а траєкторію зображає точки - фазової траєкторією.

Фазовим портретом системи називається сукупність фазових траєкторій, отриманих при різних початкових умовах.

Наведемо ілюстрації фазових портретів лінійних систем, описуваних рівняннями другого порядку з постійними коефіцієнтами. Припустимо, що диференціальне рівняння

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} - a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0x(t) = b_0y(t)$$

описує поведінку деякої динамічної системи. Тоді характеристичне рівняння системи і його рішення приймуть вид

$$p^2 - a_1p + a_0 = 0, p_{1,2} = \frac{a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_0}}{2}$$

Стійкість і якість системи в малому залежать від коренів характеристичного рівняння, $p_{1,2}$, які визначаються його коефіцієнтами a_1 і a_0 .

Наведемо координатну площину, вибравши a_1 і a_0 як її координат. Розіб'ємо цю площину на області, відповідні якісно різному поведінки даної системи (рис. 3.7):

- область 1, в якій процеси стійкі і аперіодические; точка рівноваги типу «стійкий вузол»;

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						74
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- область 2, в якій процеси стійкі і коливальні; точка рівноваги типу «стійкий фокус»;
- область 3, в якій процеси нестійкі і коливальні; точка рівноваги типу «нестійкий фокус»;
- область 4, в якій процеси нестійкі і аперіодические; точка рівноваги типу «нестійкий вузол»;
- область 5, в якій процеси нестійкі; точка рівноваги типу «сідло».

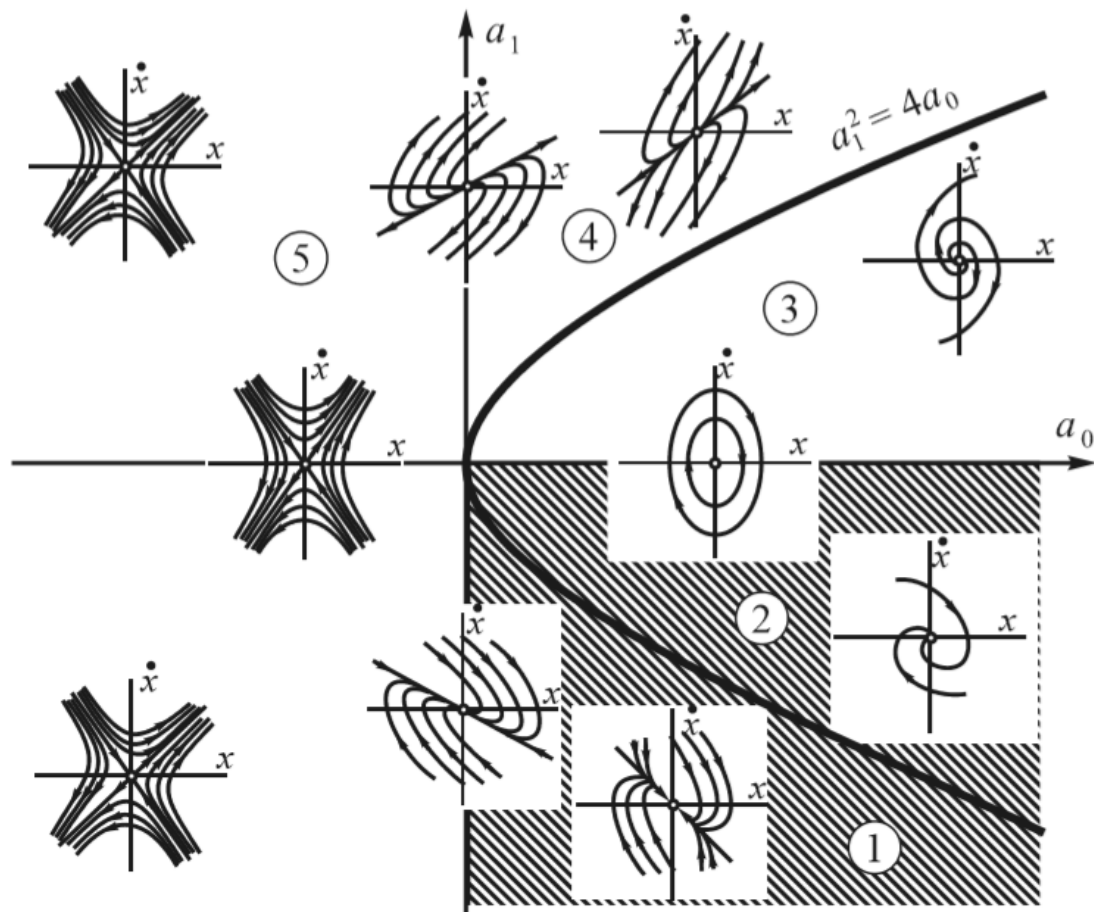


Рис.3.7 – Площина фазових портретів

На кордоні областей 2 і 3 в системі виникають незгасаючі коливання, амплітуда яких залежить від початкових умов; точка рівноваги типу «центр».

Завдання управління з точки зору фазових уявлень руху зводиться або до зміщення, зображення точки з певною допустимої області початкових умов, до заданої точки (або області) фазового простору, або до забезпечення руху, який зображує точки від деякої заданої траєкторії.

Тип траєкторії, по якій система переходить з одного стану в інший, дозволяє судити про динамічні властивості системи (час переходу, викид, коливання, точність і т. Д.). Синтез методом фазового простору передбачає вибір такого управління, яке забезпечує цей перехід по заданих траєкторіях.

3.5 Ідентифікація об'єкта керування

При виборі типу регулятора і параметрів його налаштувань необхідно знати динамічні характеристики об'єктів регулювання.

Для вже діючих промислових об'єктів найбільш достовірні дані можуть бути отримані експериментальним шляхом. Часто промислові об'єкти є складними фізичними системами, що описуються нелінійними диференціальними рівняннями високого порядку. Аналітичне визначення їх динамічних властивостей і линеаризація їх характеристик за конструктивними і фізичними даними є надзвичайно трудомісткою і складним завданням. Така оцінка динамічних властивостей доцільна лише для проєктованих об'єктів управління.

Наведемо методику експериментального визначення динамічних характеристик діючих об'єктів регулювання. Вона може бути застосована для об'єктів, що є стійкими або нейтральні фізичні системи. Подібні системи в структурних схемах можна представити у вигляді послідовно включених типових ланок. Промислові об'єкти, що включають в себе коливальні ланки, зустрічаються порівняно рідко. Як правило, при проєктуванні підбирають параметри об'єктів так, щоб вони були добре демпфовані. Завдяки цьому об'єкт розглядають як послідовне з'єднання ланок 1-го порядку (апериодических і інтегрального) і ланки з чистим запізненням.

Відомо кілька методів визначення динамічних характеристик регульованих об'єктів.

1. Методи, що базуються на штучному впливі на систему неперіодичним сигналом, потужність якого велика в порівнянні з рівнем перешкод в системі. Як вплив вибирається зазвичай стрибкоподібне зміна регулюючого впливу, і в результаті визначаються тимчасові характеристики.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						76
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Методи, засновані на штучному впливі на систему періодичними сигналами різної частоти, амплітуда яких велика в порівнянні з рівнем перешкод в системі. В результаті визначаються частотні характеристики.

3. Методи, що базуються на штучному впливі на систему синусоїдальними сигналами, порівнянними з перешкодами в системі. В результаті також визначаються частотні характеристики.

4. Методи, які не потребують штучних впливів, використовують обурення, які є в процесі нормальної експлуатації.

Тимчасової характеристикою об'єкта називають залежність регульованої величини від часу при стрибкоподібному зміні регулюючого впливу. Стосовно об'єктів регулювання цю залежність також називають кривою розгону.

На практиці в більшості випадків доводиться стикатися з неможливістю побудувати криву розгону повністю через технологічних обмежень, що накладаються на максимальні відхилення регульованої величини. Внаслідок цього обмежуються так званої імпульсної кривої розгону, яка представляє собою залежність регульованої величини від часу при стрибкоподібній подачі і подальшому зняття регулюючого впливу.

Через інерційності і обмеженості швидкості переміщення регулюючих органів або інших пристроїв, як правило будують, «спотворену» криву розгону, або «спотворену» імпульсну криву розгону.

Схема досвіду.

У багатозв'язному об'єкті виділяються регульовані величини і регулюючі дії. Потім по черзі визначається зв'язок кожного регулюючого впливу з регульованими величинами. Причому інші регулюючі дії і регульовані величини підтримуються, де це можливо, за допомогою регуляторів або вручну на заданому рівні, щоб вони не впливали на результати експерименту. Навантаження при цьому необхідно стабілізувати. Наприклад, в системі, зображеній на рис. 3.8, регульовані параметри y_1 і y_4 підтримуються постійними за допомогою регуляторів Рег1 і Рег4, що регулює вплив μ_3 - вручну для стабілізації режиму під час зняття кривих розгону величин y_2 і y_3 при стрибкоподібному

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						77
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

впливі по μ_2 (об'єкт під час зняття кривих розгону розімкнута за величинами y_2 і y_3). Етап такої роботи повинен проводитися спільно з технологами даного виробництва і на базі набутого досвіду автоматизації аналогічних об'єктів.

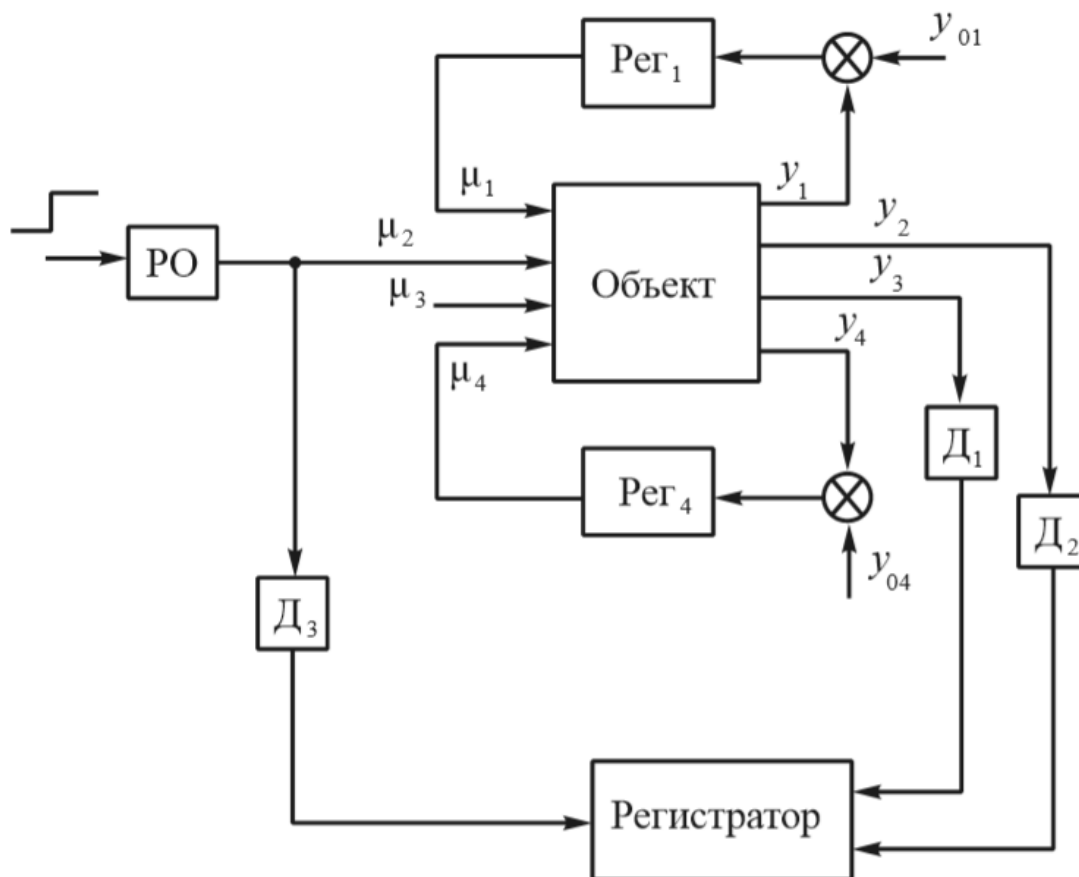


Рис. 3.8 – Схема досвіду зняття кривих розгону з об'єкта керування:

Рег1, Рег4 – регулятори; Д1, Д2, Д3 – датчики; РО – керуючий орган

При таких дослідженнях дуже важливо правильно вибрати апаратуру зміни регульованих величин і регулюючих впливів. Процес вимірювання та реєстрації зазначених параметрів має здійснюватися за допомогою чутливої і швидкодіючої апаратури (постійні часу апаратури повинні бути малі в порівнянні з постійними часу об'єкта). Про це можна судити або за попередніми розрахунками, або за результатами пробних дослідів, маючи дані про апаратуру.

У процесі підбору датчиків потрібно віддавати перевагу малоінерційним. Якщо це неможливо, то при визначенні характеристик слід використовувати датчики і реєструючі прилади, які в подальшому увійдуть як елементи в

автоматичну систему регулювання (АСР). У цьому випадку доцільно знімати спільні криві розгону об'єкта, датчика і реєструючого приладу.

Вибір регулюючого впливу.

Залежно від конкретних ситуацій в якості регулюючого впливу може розглядатися як безпосередньо регулюючий вплив (витрата гріючої і охолоджуючої середовища, кількість палива, рідини і т.п.), так і положення регулюючого органу або сигнал виконавчого механізму. Останнє доцільно лише в разі, коли регулюючий орган або виконавчий механізм будуть використані в АСР даного об'єкта.

У разі наявності інформації про те, що об'єкт працює в широкому діапазоні змін регулюючих впливів, необхідно зняти характеристики при декількох початкових значеннях цих впливів, так як характеристики можуть виявитися нелінійними. У багатьох випадках лінеаризація системи у всьому діапазоні змін регулюючого впливу неможлива. При зміні останнього може виявитися, що змінюються не тільки параметри об'єкта, а й його структура.

Таке може відбуватися в АСР, програма яких (що задається значення регульованої величини) і діють на об'єкт зовнішні обурення змінюються в широких межах.

Якщо це можливо за технологічними вимогами і може бути здійснено апаратно, то знімається крива розгону, тобто регулюючий вплив змінюється стрибкоподібно (рис. 3.9, а). Якщо ж за технологічними вимогами регульована величина в процесі дослідження об'єкта може змінюватися тільки у вузьких межах, то знімається імпульсна крива розгону. Форма зміни регулюючого впливу для цього випадку наведена на рис. 3.9, б, де t - тривалість впливу. У випадках, коли апаратно неможливо здійснити практично миттєве зміна регулюючого впливу, знімаються «спотворені» криві розгону. Форми регулюючих впливів для цих випадків наведені на рис. 3.9, в і г (в - для випадку, коли пристрій, змінює регулюючу дію, є інерційним ланкою першого порядку, г - для випадку, коли обмежена швидкість зміни регулюючого впливу).

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						79
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

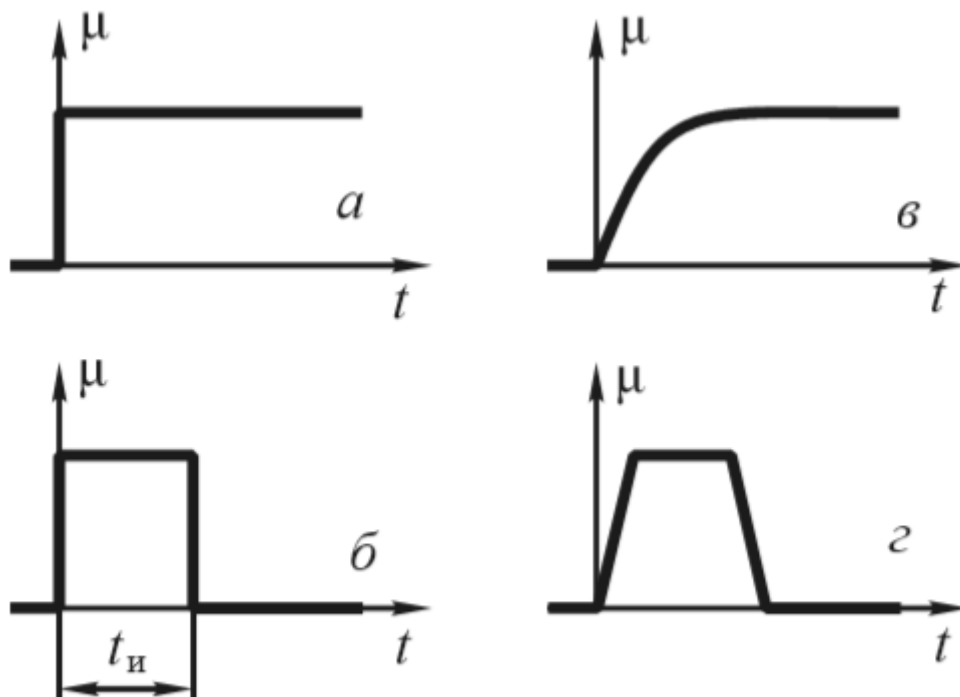


Рис.3.9 – Форма керуючої дії

При проведенні досвіду повинні враховуватися максимальне значення можливих експлуатаційних збурень, нелінійність характеристик і рівень перешкод. Зазвичай вибирають величину обурення, рівну 5-20% максимального значення (збільшення обурення може призвести до неточних результатів через нелінійність характеристик, зменшення його при наявності перешкод утруднить обробку результатів).

Порядок проведення досвіду.

На початку необхідно досягти статичного стану об'єкта з досліджуваних регульованим величинам. В об'єкті значення регульованих величин повинні підтримуватися постійними при обраному початковому значенні регулюючого впливу. Сталий стан може бути отримано стабілізацією зовнішніх збурень, а також інших регульованих величин і регулюючих впливів, що впливають на досліджувані. Сталий режим повинен фіксуватися деякий час в залеж-

ності від динамічних властивостей об'єктів. Чим більше час перехідного процесу, який зазвичай орієнтовно відомо з пробних випробувань, тим більше час фіксування.

Потім необхідно перевірити стабільність нового статичного стану, тобто стану, яке буде встановлюватися після зміни регулюючого впливу. Новий статичний режим потрібно стабілізувати аналогічно раніше розглянутому.

Далі можна перейти до зняття характеристик в об'єкті. При одному з вибраних початкових значень подається 2-3 рази вбрання вплив і реєструються регульовані величини і регулюючий вплив. Досвід повторюється для іншого обраного початкового значення і т.д.

3.6 Моделювання математичної моделі реактору окиснення аміаку

Розглянемо більш детально окисну башту - реактор окиснення аміака, як технологічний об'єкт керування (рис.3.10.) .

Суміш речовин аміаку і кисню по каналу «основного» ходу з витратою G_0 , температурою Θ_0 і концентрацією аміаку C_0 подається на вхід полиці реактора окиснення. Для регулювання температурного режиму на полках реактора, частина суміші подається минаючи внутрішній теплообмінник реактора окиснення через регулюючі клапани (на рис.3.10.).

Ці потоки називаються «холодними» байпасом. У відповідності з рис. 3.10. «холодний» байпас з витратою G_1 , температурою Θ і концентрацією аміаку C_1 подається на вхід полиці реактора окиснення через регулюючий клапан 1. На вході полиці реактора окиснення ці два потоки змішуються між собою, а на каталізаторі полиці утворюється оксид азоту. Продукти реакції відводяться з реактора витратою G . Концентрація азоту на виході полиці C_1 . Модель, розроблена для однієї полиці реактора. У реальних апаратів кількість полиць каталізатора може досягати 50. Так як реакція на полицях каталізатора йде з виділенням тепла – то температуру на полиці реактора регулюємо за допомогою теплообмінника.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						81
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

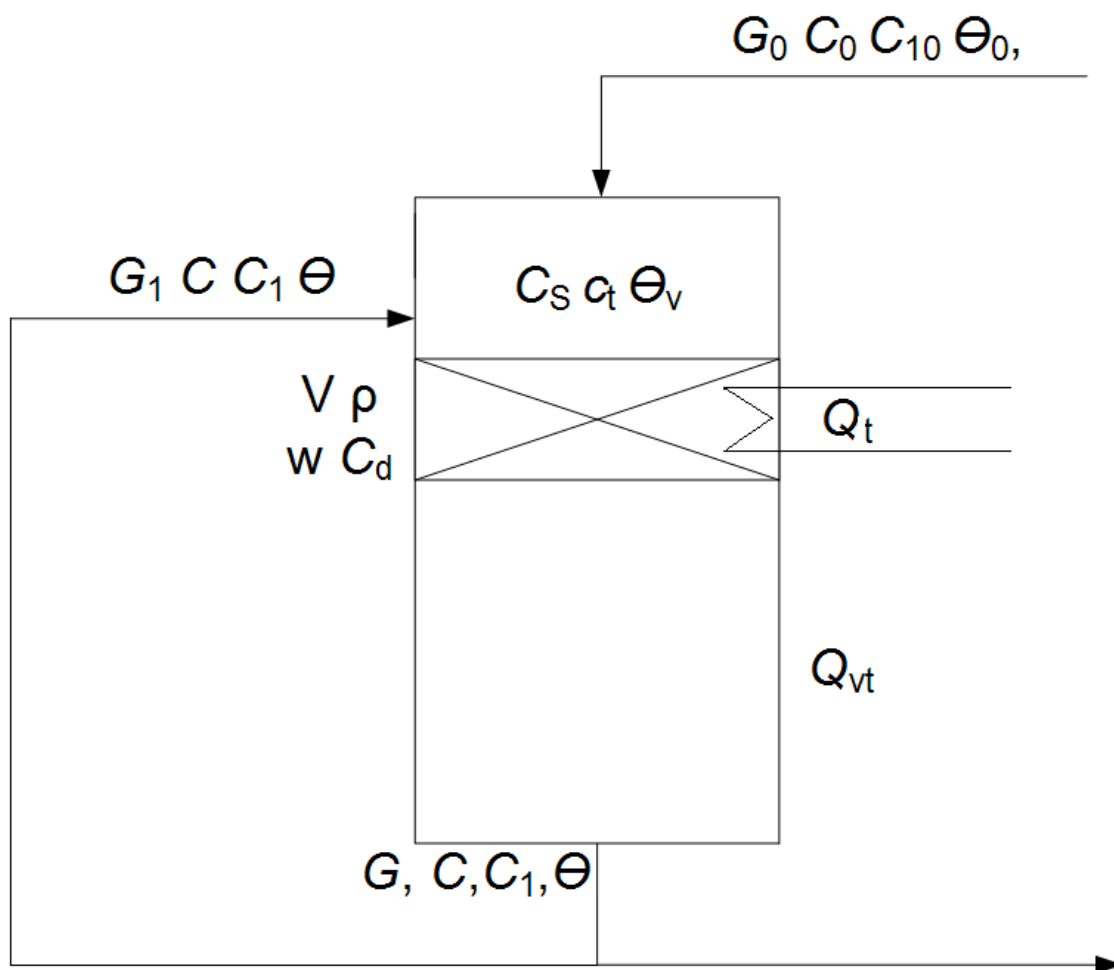


Рис.3.10 – Технологічна схема реактору окиснення аміаку.

На цій схемі позначені такі технологічні параметри:

G_0 – витрата «основного» потоку;

G_1 – витрата «байпасного» потоку;

G – витрата на виході з реактору окиснення аміаку;

C_{10} – концентрація NH_3 на вході в реактор окиснення аміаку;

C_0 – концентрація NO на вході в реактор окиснення аміаку;

C_1 – концентрація NH_3 на виході з реактору окиснення аміаку;

C – концентрація NO на виході з реактору окиснення аміаку;

C_t – питома теплоємність суміші газів;

C_s – концентрація NH_3 на вході в полицю реактор окиснення аміаку;

C_d – концентрація NH_3 у полиці реактор окиснення аміаку;

V – об'єм

ρ – густина

q – кількість енергії у результаті реакції;

Θ_0 – температура «основного» потоку;

Θ – температура «байпасного» потоку;

Q_t – втрати температури у теплообміннику;

Q_{vt} – втрати температури у навколишнє середовище;

w – швидкість реакції

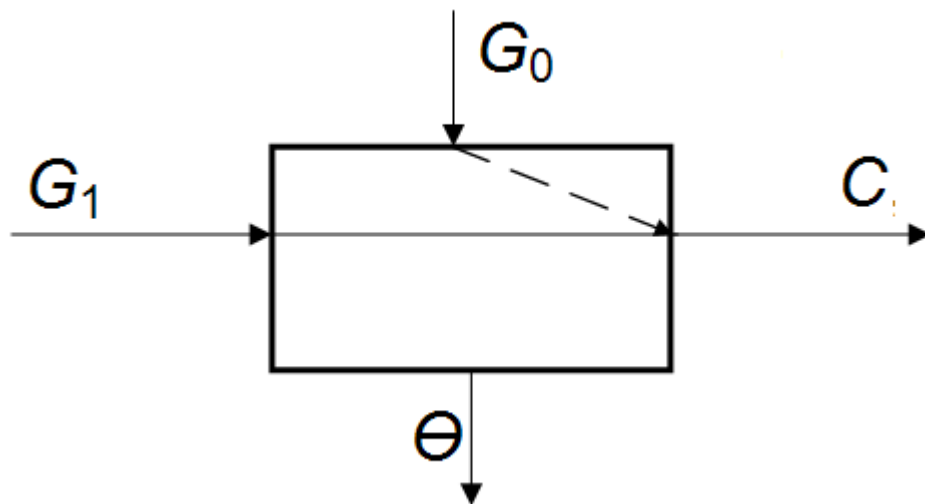


Рис. 3.11 – Параметрична схема реактору окиснення аміаку

Регульованим параметром приймемо концентрацію NO на виході (C) з реактору окиснення аміаку.

Керуючою дією обираємо витрату «холодного» байпасу (G_1), який надходить в реактор окиснення аміаку.

За основне збурення приймемо витрату «основного» ходу газової суміші (G_0), яка надходить у реактор окиснення аміаку.

Проміжним параметром є температура суміші на виході з реактору окиснення аміаку (Θ).

Обмеженням буде:

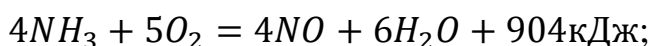
температура(Θ): 770 – 780 K

витрата «байпасного» потоку(G_1): 0 – 2 кг/с

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						83
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Це об'єкт з нерозподіленими параметрами. При моделюванні статичного та динамічного режимів робимо такі припущення:

- реакційний об'єм повного перемішування;
- швидкість реакції першого порядку;
- на вхід реакції концентрація та температура не впливають;
- формула реакції на полиці реактору окиснення аміаку



- відсутні втрати на навколишнє середовище;

Критерієм керування оберемо квадратичний критерій, бо дана модель лінійна. Нам необхідно підтримувати на певному рівні концентрацію NO на виході з реактору. Тобто в критерій оптимальності включаємо концентрацію NO на виході з реактору окиснення аміаку:

$$I = \left[\frac{1}{2} q_1 \Theta^2 + \frac{1}{2} q_2 (C - C^{зад})^2 + \frac{1}{2} r G_1^2 \right],$$

де $C^{зад} = 0,01$, , q_1, q_2, r - вагові коефіцієнти.

Відповідно до технології, для даного апарата не можна змінювати керуючу витрату в будь-якому діапазоні. Тому треба задати межі, в яких має знаходитися це значення витрати. Це означає, що обмеженнями вважаємо:

$$G_{1\min} \leq G_1 \leq G_{1\max}, \text{ де } G_{1\min} = 0 \text{ кг/с, } G_{1\max} = 2 \text{ кг/с.}$$

$$\Theta_{\min} \leq \Theta \leq \Theta_{\max}, \text{ де } \Theta_{\min} = 770 \text{ К, } \Theta_{\max} = 780 \text{ К.}$$

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						84
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. — Основні параметри статичного режиму

№ п/п	Назва параметру	Позна- чення	Одиниці ви- мірювання	Числові значення
1	витрата «основного» потоку	G0	кг/с	3.5
2	витрата «байпасного» потоку	G1	кг/с	1.5
3	витрата на виході з реактору окиснення аміаку	G	кг/с	5
4	концентрація NH_3 на вході в ре- актор окиснення аміаку;	C10	-	0,45
5	концентрація NO на вході в ре- актор окиснення аміаку	C0	-	0
6	концентрація NH_3 на виході з реактору окиснення аміаку	C1	-	0,07
7	концентрація NO на виході з ре- актору окиснення аміаку	C	-	0,89
6	густина газової суміші	ρ	кг/м3	2.18
7	об'єм газової суміші	V	м3	20
8	кількість енергії у результаті ре- акції	q	кДж	904
9	Коефіцієнт швидкості	K	1/с	0.005
10	Теплоємність NH_3	St	кДж /кг*К	4.19
11	температура «основного» по- току	θ_0	К	773
12	температура на виході з реак- тора	θ	К	773
13	Температура теплообмінника	θ_1	К	273
14	K_1 — коефіцієнти втрат те- пла; F_1 — площі поверхонь	K_1F_1	-	0.1

В основу математичної моделі процесів, які відбуваються у реакторі окиснення аміаку, покладемо систему теплового та матеріального балансів:

Рівняння статичного режиму балансу реактору окиснення аміаку по NH_3 :

$$G_0 C_{10} + G_1 C_1 - G C_1 - V p w = 0 \quad (3.8)$$

Рівняння статичного режиму балансу реактору окиснення аміаку по температурі:

$$G_0 C_t \theta_0 + G_1 C_t \theta - G C_t \theta + V p w q - Q_t = 0 \quad (3.9)$$

Рівняння динамічного режиму балансу реактору окиснення аміаку по NH_3 :

$$G_0 C_{10} + G_1 C_1 - G C_1 - V p w = V p \frac{dC_d}{dt} \quad (3.10)$$

Рівняння динамічного режиму балансу реактору окиснення аміаку по температурі:

$$G_0 C_t \theta_0 + G_1 C_t \theta - G C_t \theta + V p w q - Q_t = V p \frac{d \frac{(\theta_v + \theta)}{2}}{dt} \quad (3.11)$$

Отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} G_0 C_{10} + G_1 C_1 - G C_1 - V p w = V p \frac{dC_d}{dt} \\ G_0 C_t \theta_0 + G_1 C_t \theta - G C_t \theta + V p w q - Q_t = V p \frac{d \frac{(\theta_v + \theta)}{2}}{dt} \end{cases} \quad (3.12)$$

Перейдемо до концентрації С.

Маємо

$$\frac{C_{10} - C_1}{-4 * \mu_{NH_3}} = \frac{C_0 - C}{4 * \mu_{NO}} \quad (3.13)$$

де $\mu_{NH_3} = 17 \text{ г/моль}$,

$\mu_{NO} = 30 \text{ г/моль}$

Підставимо у рівняння (3.13) данні.

Маємо

$$\frac{C_{10} - C_1}{-4 * 17} = \frac{C_0 - C}{4 * 30} \quad (3.14)$$

Звідси, так як $C_0 = 0$, то

$$C_1 = \frac{-17}{30} C + C_{10} \quad (3.15)$$

За припущенням швидкість реакції першого порядку, тоді

$$w = K * C_d \quad (3.16)$$

Де K – коефіцієнт швидкості,

C_d – дійсне значення концентрації NH_3 .

$$C_d = \frac{1}{2} (C_s + C_1) \quad (3.17)$$

Де

$$C_s = \frac{G_0 C_{10} + G_1 C_1}{G_0 + G_1} \quad (3.18)$$

$$Q_t = K_1 F_1 (\theta - \theta_t) \quad (3.19)$$

$$Q_v = \frac{G_0 \theta_0 + G_1 \theta}{G_0 + G_1} \quad (3.20)$$

Де K_1 – коефіцієнти втрат тепла;

F_1 – площі поверхонь

θ_t – температура у теплообміннику

$$Q_v = \frac{G_0 \theta_0 + G_1 \theta}{G_0 + G_1} \quad (3.21)$$

Підставимо значення (3.14 – 3.21) у систему рівнянь (3.12).

$$\left\{ \begin{aligned} G_0 C_{10} + G_1 C_{10} - \frac{17}{30} G_1 C - G C_{10} + \frac{17}{30} G C - \frac{1}{2} V p K \left(C_s - \frac{17}{30} C + C_{10} \right) &= \\ &= \frac{1}{2} V p \frac{dC_s}{dt} - \frac{17}{60} V p \frac{dC}{dt} \\ G_0 C_t \theta_0 + G_1 C_t \theta - G C_t \theta + \frac{1}{2} V p q K \left(C_s - \frac{17}{30} C + C_{10} \right) - K_1 F_1 (\theta - \theta_t) &= \\ &= \frac{1}{2} V p C_t \frac{d\theta_v}{dt} + \frac{1}{2} V p C_t \frac{d\theta}{dt} \end{aligned} \right. \quad (3.22)$$

Система диференціальних рівнянь є нелінійною. Така математична модель дає опис системи, але вона не придатна для подальшого аналізу й використання. Для отримання лінійної диференціальної системи, за допомогою якої можна встановити відповідні властивості вогневого підігрівача, лінеаризуємо систему нелінійних диференціальних рівнянь в точках основного статичного режиму.

Для отримання рівнянь у відхиленнях (лінеаризованих) приймаємо:

$$G_0 = G_{00} + \Delta G_0$$

$$G_1 = G_{10} + \Delta G_1$$

$$G = G_0 + \Delta G$$

$$C_1 = C_{10} + \Delta C_1$$

$$\theta = \theta_0 + \Delta \theta$$

$$\theta_v = \theta_{v0} + \Delta \theta_v$$

В результаті отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{10}\Delta G_0 + C_{10}\Delta G_1 - \frac{17}{30}G_1\Delta C - \frac{17}{30}\Delta G_1C - C_{10}\Delta G + \frac{17}{30}G\Delta C + \\ + \frac{17}{30}\Delta GC - \frac{1}{2}VpK\Delta C_s + \frac{17}{60}VpK\Delta C = \frac{1}{2}Vp\frac{d\Delta C_s}{dt} - \frac{17}{60}Vp\frac{d\Delta C}{dt} \\ C_t\theta_0\Delta G_0 + G_1C_t\Delta\theta + C_t\theta\Delta G_1 - GC_t\Delta\theta - C_t\theta\Delta G + \frac{1}{2}VpqK\Delta C_s - \\ - \frac{17}{60}VpqK\Delta C - K_1F_1\Delta\theta = \frac{1}{2}VpC_t\frac{d\Delta\theta_v}{dt} + \frac{1}{2}VpC_t\frac{d\Delta\theta}{dt} \end{array} \right. \quad (3.23)$$

Зведемо подібні доданки

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{17}{60}Vp\frac{d\Delta C}{dt} + \left(\frac{17}{30}G + \frac{17}{60}VpK - \frac{17}{30}G_1\right)\Delta C = \frac{1}{2}Vp\frac{d\Delta C_s}{dt} + \\ + \frac{1}{2}VpK\Delta C_s + \left(\frac{17}{30}C - C_{10}\right)\Delta G_1 - \left(\frac{17}{30}C - C_{10}\right)G - C_{10}\Delta G_0 \\ \frac{1}{2}VpC_t\frac{d\Delta\theta}{dt} + (K_1F_1 + G_1C_t - GC_t)\Delta\theta = C_t\theta_0\Delta G_0 + \\ + C_t\theta\Delta G_1 - C_t\theta\Delta G + \frac{1}{2}VpqK\Delta C_s - \frac{17}{60}VpqK\Delta C - \frac{1}{2}VpC_t\frac{d\Delta\theta_v}{dt} \end{array} \right. \quad (3.24)$$

Ведемо позначення коефіцієнтів при першій степені визначальної величини:

$$B = \frac{17}{30}G + \frac{17}{60}VpK - \frac{17}{30}G_1$$

$$D = K_1F_1 + G_1C_t - GC_t$$

$$D1 = K_1F_1 + K_2F_2 + G_1C_t - GC_t$$

Підставимо у системи рівнянь(3.24):

$$\begin{cases} \frac{17}{60} Vp \frac{d\Delta C}{dt} + B\Delta C = \frac{1}{2} Vp \frac{d\Delta C_s}{dt} + \frac{1}{2} Vp K \Delta C_s + \left(\frac{17}{30} C - C_{10} \right) \Delta G_1 - \\ \quad - \left(\frac{17}{30} C - C_{10} \right) G - C_{10} \Delta G_0 \\ \frac{1}{2} Vp C_t \frac{d\Delta \theta}{dt} + D\Delta \theta = C_t \theta_0 \Delta G_0 + C_t \theta \Delta G_1 - C_t \theta \Delta G + \frac{1}{2} Vpq K \Delta C_s - \\ \quad - \frac{17}{60} Vpq K \Delta C - \frac{1}{2} Vp C_t \frac{d\Delta \theta_v}{dt} \end{cases} \quad (3.25)$$

Поділимо на коефіцієнт при першій степені визначальної величини:

$$\begin{cases} \frac{17}{60} \frac{Vp}{B} \frac{d\Delta C}{dt} + \Delta C = \frac{1}{2} \frac{Vp}{B} \frac{d\Delta C_s}{dt} + \frac{1}{2} \frac{Vp K}{B} \Delta C_s + \frac{1}{B} \left(\frac{17}{30} C - C_{10} \right) \Delta G_1 - \\ \quad - \frac{1}{B} \left(\frac{17}{30} C - C_{10} \right) G - \frac{C_{10}}{B} \Delta G_0 \\ \frac{1}{2} \frac{Vp C_t}{D} \frac{d\Delta \theta}{dt} + \Delta \theta = \frac{C_t \theta_0}{D} \Delta G_0 + \frac{C_t \theta}{D} \Delta G_1 - \frac{C_t \theta}{D} \Delta G + \frac{1}{2} \frac{Vpq K}{D} \Delta C_s - \\ \quad - \frac{17}{60} \frac{Vpq K}{D} \Delta C - \frac{1}{2} \frac{Vp C_t}{D} \frac{d\Delta \theta_v}{dt} \end{cases} \quad (3.26)$$

Введемо наступні позначення:

$$T_c = \frac{17}{60} \frac{Vp}{B}$$

$$T_{C_s} = \frac{1}{2} \frac{Vp}{B}$$

$$K_{1C_s} = \frac{1}{2} \frac{Vp K}{B}$$

$$K_{1G_1} = K_{1G} = \frac{1}{B} \left(\frac{17}{30} C - C_{10} \right)$$

$$K_{1G_0} = \frac{C_{10}}{B}$$

$$T_\theta = T_{\theta_v} = \frac{1}{2} \frac{Vp C_t}{D}$$

$$K_{2G_0} = \frac{C_t \theta_0}{D}$$

$$K_{2G_1} = K_{2G} = \frac{C_t \theta}{D}$$

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		90

$$K_{2C_s} = \frac{1}{2} \frac{VpqK}{D}$$

$$K_{2C} = \frac{17}{60} \frac{VpqK}{D}$$

Рівняння в формі Коші.

Підставимо у систему рівнянь(3.26):

$$\left\{ \begin{array}{l} T_C \frac{d\Delta C}{dt} + \Delta C = T_{C_s} \frac{d\Delta C_s}{dt} + K_{1C_s} \Delta C_s + K_{1G_1} \Delta G_1 - \\ \quad - K_{1G} G - K_{1G_0} \Delta G_0 \\ T_\theta \frac{d\Delta \theta}{dt} + \Delta \theta = K_{2G_0} \Delta G_0 + K_{2G_1} \Delta G_1 - K_{2G} \Delta G + K_{2C_s} \Delta C_s - \\ \quad - K_{2C} \Delta C - T_{\theta_v} \frac{d\Delta \theta_v}{dt} \end{array} \right. \quad (3.27)$$

Звернемо увагу на розмірність коефіцієнтів

$$T_C = \frac{[M^3] \left[\frac{KG}{M^3} \right]}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = [ГОД]$$

$$T_{C_s} = \frac{[M^3] \left[\frac{KG}{M^3} \right]}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = [ГОД]$$

$$K_{1C_s} = \frac{[M^3] \left[\frac{KG}{M^3} \right] \left[\frac{1}{ГОД} \right]}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = []$$

$$K_{1G_1} = K_{1G} = \frac{1}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = \left[\frac{ГОД}{KG} \right]$$

$$K_{1G_0} = \frac{1}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = \left[\frac{ГОД}{KG} \right]$$

$$T_\theta = T_{\theta_v} = \frac{[M^3] \left[\frac{KG}{M^3 * ГОД} \right] \left[\frac{ДЖ}{К} \right]}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = \left[\frac{ДЖ}{К} \right]$$

$$K_{2G_0} = \frac{\left[\frac{ДЖ}{К} \right] [К]}{\left[\frac{KG}{ГОД} \right]} = \left[\frac{ДЖ * ГОД}{KG} \right]$$

$$K_{2G_1} = K_{2G} = \frac{\left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] [\text{К}]}{\left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right]} = \left[\frac{\text{Дж} * \text{год}}{\text{кг}}\right]$$

$$K_{2C_s} = \frac{[\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] [\text{Дж}] \left[\frac{1}{\text{год}}\right]}{\left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right]} = [\text{Дж}]$$

$$K_{2C} = \frac{[\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] [\text{Дж}] \left[\frac{1}{\text{год}}\right]}{\left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right]} = [\text{Дж}]$$

Перевіримо розмірності :

$$\left\{ \begin{array}{l} [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] \left[\frac{1}{\text{год}}\right] + \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] + [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] \left[\frac{1}{\text{год}}\right] - \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] = \\ = [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] \left[\frac{1}{\text{год}}\right] + [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] \left[\frac{1}{\text{год}}\right] + \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] - \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] - \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] \\ \quad [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] \left[\frac{\text{К}}{\text{год}}\right] + \\ + \left(\left[\frac{\text{кг} * \text{Дж}}{\text{К} * \text{м}^2 * \text{год}}\right] [\text{м}^2] + \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] - \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] \right) [\text{К}] = \\ = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] [\text{К}] \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] + \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] [\text{К}] \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] - \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] [\text{К}] \left[\frac{\text{кг}}{\text{год}}\right] + \\ + [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] [\text{Дж}] \left[\frac{1}{\text{год}}\right] - [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] [\text{Дж}] \left[\frac{1}{\text{год}}\right] + \\ + [\text{м}^3] \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right] \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\right] \left[\frac{\text{К}}{\text{год}}\right] \end{array} \right.$$

Розмірності сходяться, отже попередні розрахунки виконано вірно.

Перетворення за Лапласом змінної часу

Для подання системи відповідними передатними функціями треба диференціальне рівняння записати в операційній формі: тобто після перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow s$ при нульових початкових умовах:

$$\Delta C \rightarrow C(s);$$

$$\Delta G_1 \rightarrow G_1(s);$$

$$\Delta G_0 \rightarrow G_0(s);$$

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		92

$$\Delta G \rightarrow G(s);$$

$$\Delta C_s \rightarrow C_s(s);$$

$$\Delta \theta \rightarrow \theta(s);$$

$$\Delta \theta_v \rightarrow \theta_v(s);$$

Підставимо у систему рівнянь(3.27):

$$\begin{cases} (T_C * s + 1)C(s) = K_{1G_1}G_1(s) - K_{1G_0}G_0(s) - K_{1G}G(s) + \\ \quad + (T_{C_s} * s + K_{1C_s})C_s(s) \\ K_{2C}C(s) + (T_\theta * s + 1)\theta(s) = K_{2G_1}G_1(s) + K_{2G_0}G_0(s) - K_{2G}G(s) + \\ \quad + K_{2C_s}C_s(s) - T_{\theta_v} * p * \theta_v(s) \end{cases} \quad (3.28)$$

Передатні функції за каналами збурення і керування

Для отримання передатних функцій за каналами керування та збурення, використаємо метод Крамера до систем рівнянь (3.28):

$$a = \begin{vmatrix} T_C * s + 1 & 0 \\ K_{2C} & T_\theta * s + 1 \end{vmatrix} = (T_C * s + 1) (T_\theta * s + 1)$$

$$G_1 = \begin{pmatrix} K_{1G_1} \\ K_{2G_1} \end{pmatrix}$$

$$G_0 = \begin{pmatrix} K_{1G_0} \\ K_{2G_0} \end{pmatrix}$$

$$a_1 = \begin{vmatrix} K_{1G_1} & 0 \\ K_{2G_1} & T_\theta * s + 1 \end{vmatrix} = K_{1G_1} (T_\theta * s + 1)$$

$$a_2 = \begin{vmatrix} -K_{1G_0} & 0 \\ K_{2G_0} & T_\theta * s + 1 \end{vmatrix} = -K_{1G_0} (T_\theta * s + 1)$$

Отже передатна функція за каналом керування «концентрація NO на виході з реактору окиснення аміаку \rightarrow витрата «байпасного» потоку» ($C \rightarrow G_1$):

$$W_{ker}(p) = \frac{a_1}{a} = \frac{K_{1G_1} (T_\theta * s + 1)}{(T_C * s + 1) (T_\theta * s + 1)} = \frac{K_{1G_1}}{(T_C * s + 1)}.$$

Передатна функція за каналом збурення «концентрація NO на виході з реактору окиснення аміаку \rightarrow витрата «основного» потоку» ($C \rightarrow G_0$):

$$W_{zb}(p) = \frac{a_2}{a} = \frac{-K_{1G_0}(T_\theta * s + 1)}{(T_C * s + 1)(T_\theta * s + 1)} = \frac{-K_{1G_0}}{(T_C * s + 1)}.$$

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						94
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОКИСНЕННЯ АМІАКУ У ВИРОБНИЦТВІ РОЗВЕДЕНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ ПІД АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ

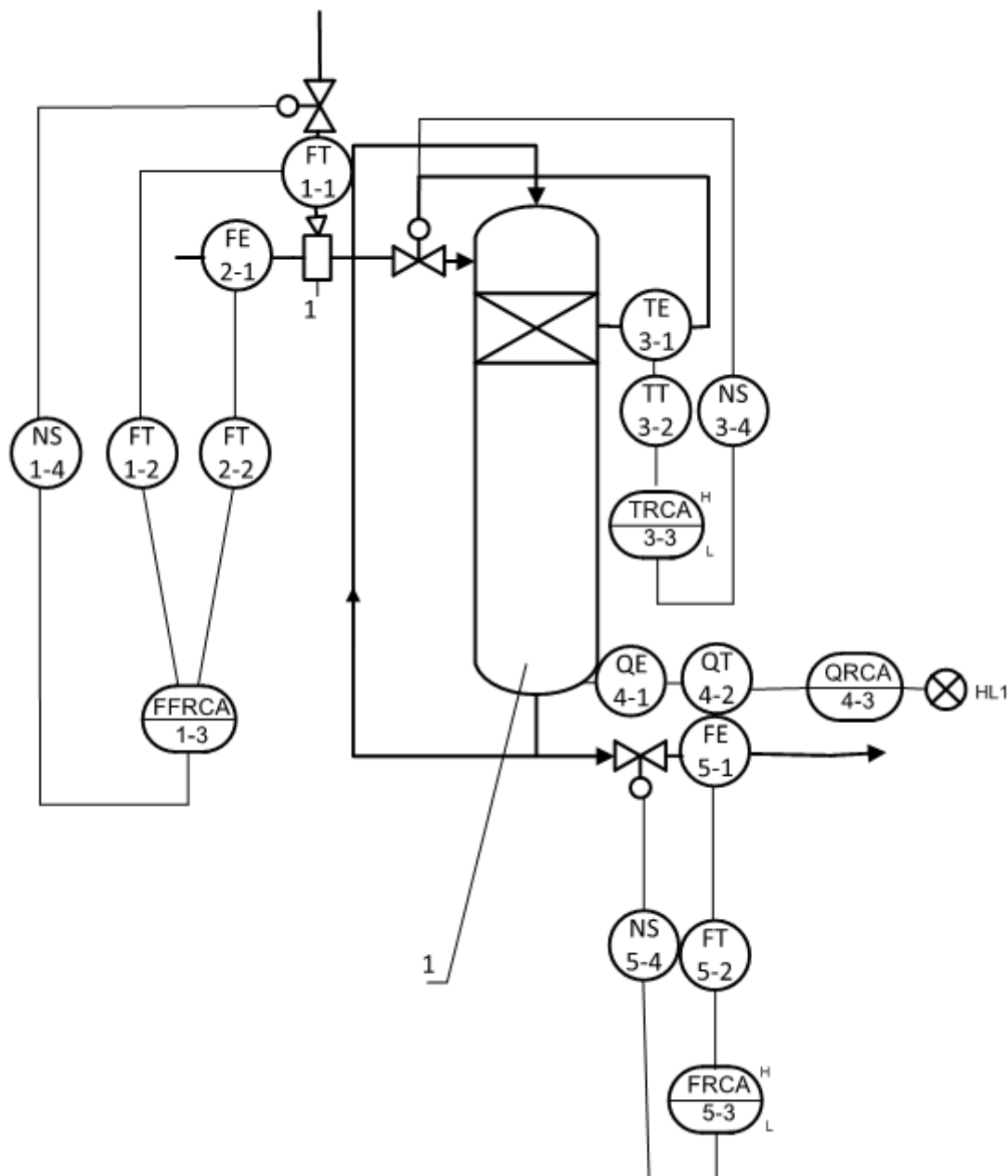
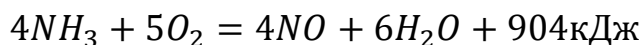


Рис. 4.1 – Принципова схема системи автоматичного управління процесом окиснення аміаку в окисній башті

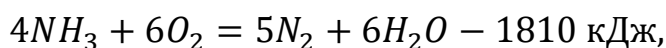
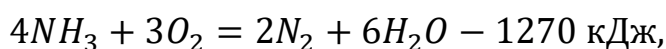
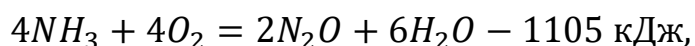
На рис. 4.1 представлена принципова схема системи автоматичного управління процесом окиснення аміаку в окисній башті.

У змішувачі очищене повітря змішується з сумішшю, що містить аміак, та подається до реактору окиснення аміаку. У реакторі окиснення аміаку суміш проходить через полиці з платиновим каталізатором.

На полицях реактору окиснення аміаку відбувається каталітична реакція окиснення аміаку.



Але при окисленні аміаку крім основної реакції можуть протікати й інші процеси:



Саме тому використовують платинові каталізatori вибіркової дії, тобто на таких каталізаторах, які різко прискорюють реакцію одержання NO в порівнянні з іншими реакціями окислювання аміаку, адже під час відсутності каталізатора найбільш швидкою є реакція окислювання до елементного азоту. Процес окиснення аміаку на платиновому каталізаторі відноситься до числа найбільш швидких каталітичних реакцій, відомих у даний час.

Ці каталізatori являють собою сплав платини з 4% Pd і 3% Rh. Платинові каталізatori виготовляють у вигляді сіток з тонкого дроту діаметром 0,06-0,09 мм, що мають 1024 отвору в 1 см².

Суміш речовин аміаку і кисню по каналу «основного» ходу на вхід полиці реактора окиснення. Для регулювання температурного режиму на полках реактора, частина суміші подається минаючи внутрішній теплообмінник реактора окиснення через регулюючі клапани (на рис.4.1).

Ці потоки називаються «холодними» байпасом. У відповідності з рис. 4.1. «холодний» байпас подається на вхід полиці реактора окиснення через регулюючий клапан. На вході полиці реактора окиснення ці два потоки змішуються між собою, а на каталізаторі полиці утворюється оксид азоту. Продукти реакції

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						96
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

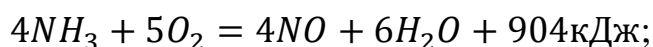
відводяться з реактора. Модель, розроблена для однієї полиці реактора. У реальних апаратів кількість полиць каталізатора може досягати 50. Так як реакція на полицях каталізатора йде з виділенням тепла – то температуру на полиці реактора регулюємо за допомогою теплообмінника.

Ця стадія даного процесу розкладання аміаку значно впливає на всі наступні етапи ведення очищення. Тому вивчення динамічних властивостей реактору окиснення аміака як основної ланки об'єкта автоматичного регулювання має бути приділена особлива увага.

Реакція окиснення є процес хімічної взаємодії з каталізатором, при цьому відсутні впливу температури на швидкість хімічного перетворення.

Покладемо, що:

- реакційний об'єм повного перемішування;
- швидкість реакції першого порядку;
- на вхід реакції концентрація та температура не впливають;
- формула реакції на полиці реактору окиснення аміаку



- відсутні втрати на навколишнє середовище.

Процес окиснення аміаку можна розглядати як сукупність елементарних процесів теплообміну і хімічного перетворення. Тому представляється правомірним поданням моделі процесу у вигляді сукупності ланок, об'єднаних в певну схему - структурну схему математичної моделі.

Зв'язок між змінними в ланках визначається передавальними функціями по певних каналах. На рис 4.2. зображена структурна схема математичної моделі процесу окиснення аміака. З запропонованої структурної схеми моделі слід що рівняння, що зв'язує величину концентрації іонів аміаку з технологічними параметрами, може бути представлено у вигляді:

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						97
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

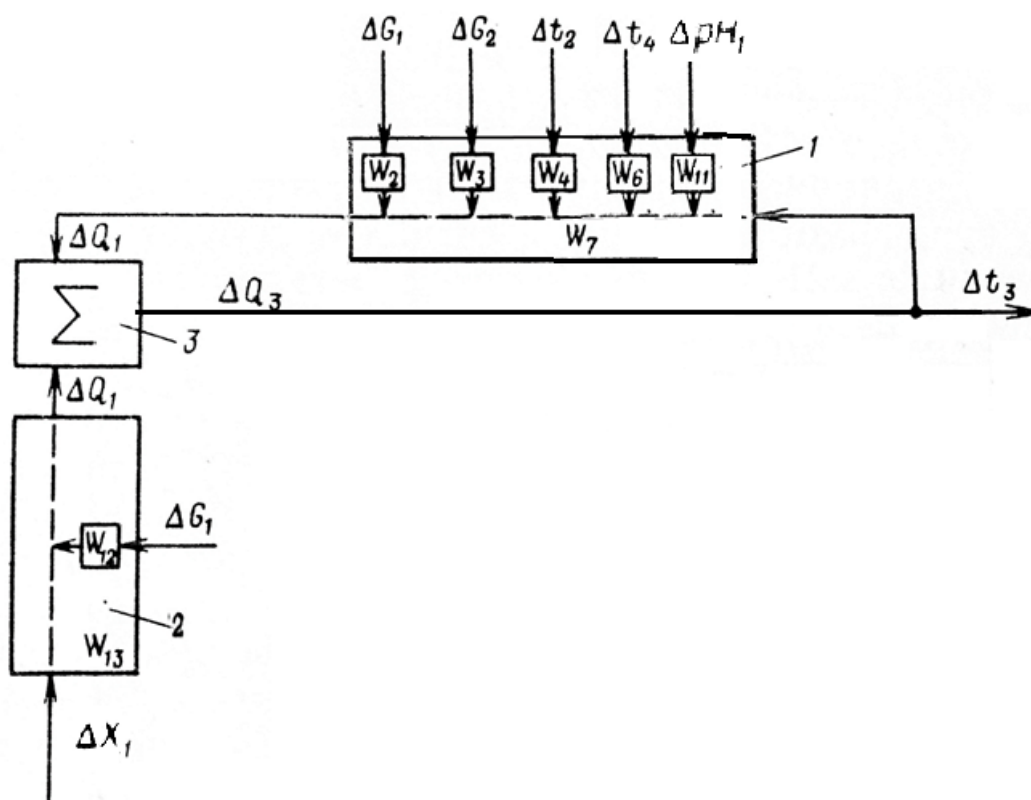


Рис 4.2 – Структурна схема математичної моделі процесу окиснення аміаку: 1– теплообмінна ланка, 2 – теплова ланка, 3 – сумуюча ланка

$$\Delta x_1 = \Delta G_1 W_1(p) \quad (4.1)$$

Рівнянням, що описує процес по каналах зовнішні збурення – кінцева температура, буде

$$\Delta t_3 = Q_3 W_3(p). \quad (4.2)$$

Визначимо передавальний функцію по канату витрата розчину - концентрація іонів азоту на виході з реактора:

$$W_3(p) = \overline{\Delta X_1} / \overline{\Delta G_2}$$

Рівняння матеріального балансу за кількістю іонів азоту:

$$G_1 x_1 + G_2 x_2 - VW = G_1 x_3 + G_2 x_3 \quad (4.3)$$

Очевидно, що

$$x_i = 10^{-pH_i} \quad (4.4)$$

Де $i=1,2,3$.

Підставивши вираз (4.4) в рівняння матеріального балансу (4.3) і лінеаризувавши отримані нелінійні функції розкладанням їх у ряд Тейлора в околиці стаціонарного режиму з утриманням тільки лінійних членів розкладання, отримали:

$$\begin{aligned} & V \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10 (\alpha \Delta pH_3 / dt) + V \cdot W \ln 10 \Delta pH_3 + G_1 \\ & \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10 \Delta pH_3 + G_2^* \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10 \Delta pH_3 \\ & = 10^{-pH_3^*} \Delta G_2 - 10^{-pH_2} \Delta G_2, \end{aligned} \quad (4.5)$$

де знаком * відзначені значення технологічних параметрів в стаціонарних умовах.

Перетворимо отримане вираження по Лапласа:

$$\begin{aligned} & [V \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10 (p) + V \cdot W \ln 10 + G_3^* \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10] \overline{\Delta pH_3} \\ & = (10^{-pH_3^*} - 10^{-pH_2}) \Delta G_2, \end{aligned} \quad (4.6)$$

де $G_3^* = G_1 + G_2^*$.

Тоді

$$\begin{aligned} W_3(p) &= \Delta pH_3 / \Delta G_2 \\ &= (10^{-pH_3^*} - 10^{-pH_2}) / [V \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10 (p) + V \cdot W \ln 10 \\ &+ G_3^* \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10]. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Вводячи позначення:

$$(10^{-pH_3^*} - 10^{-pH_2}) / [V \cdot W \ln 10 + G_3^* \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10] = K_{об},$$

отримаємо

$$(V \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10) / [V \cdot W \ln 10 + G_3^* \cdot 10^{-pH_3^*} \ln 10] = T_{об}; \quad (4.8)$$

$$W_3(p) = K_{об} / (T_{об} p + 1)$$

У зв'язку з існуванням транспортного запізнювання є виправданим доповнити передавальну функцію співмножником $e^{-p\tau}$, тоді

$$W_3(p) = [K_{об} / (T_{об} p + 1)] e^{-p\tau}$$

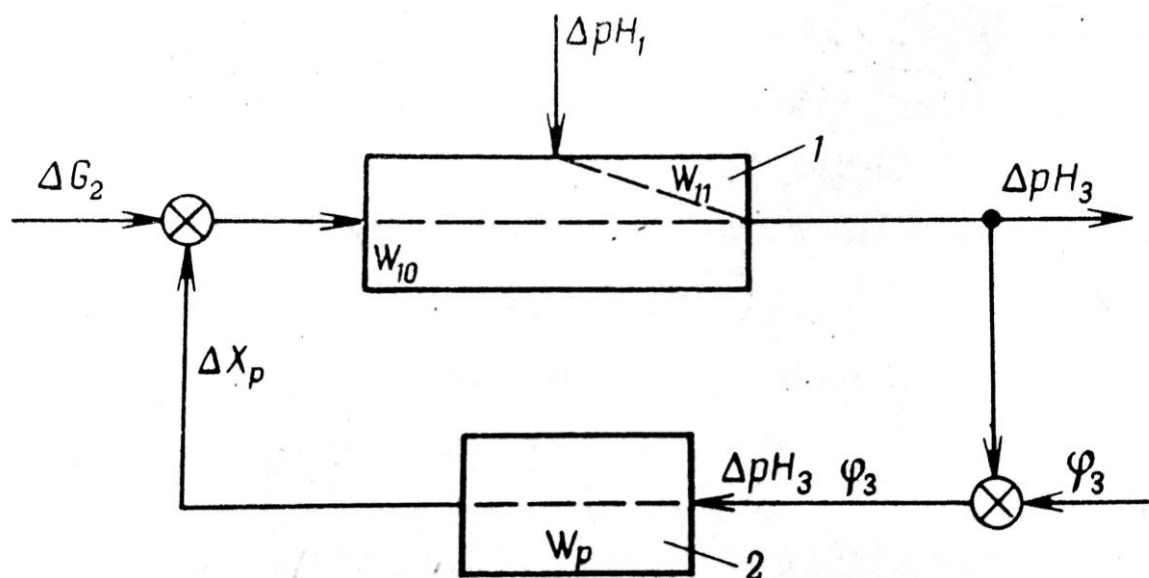


Рис. 4.3 – Структурна схема системи регулювання концентрації аміаку: 1 – об’єкт, 2 – регулятор.

де $\tau = 20$ с – час транспортного запізнювання, знайдене з ряду експериментів.

У нашому випадку, виходячи з виразів (4.8), $K_{об} = 0,36$ с/м³, $T_{об} = 3,6$ с. передавальна функція $W_3(p)$ набуде вигляду:

$$W_3(p) = [0,36/(3,6p + 1)]e^{-20p} \quad (4.9)$$

Використовуючи відомі методи, визначимо оптимальні параметри налаштування ПД-регулятора системи автоматичного регулювання процесу окиснення аміаку (рис. 4.1):

Налаштування 1. $K_p = 4,77$; $T_i = 21,682$; $T_{пр} = 15,177$; $K_{и} = 0,22$;

Налаштування 2. $K_p = 2,747$; $T_i = 50,87$; $T_{пр} = 10,174$; $K_{и} = 0,054$;

Налаштування 3. $K_p = 3,747$; $T_i = 26,387$; $T_{пр} = 18,471$; $K_{и} = 0,142$.

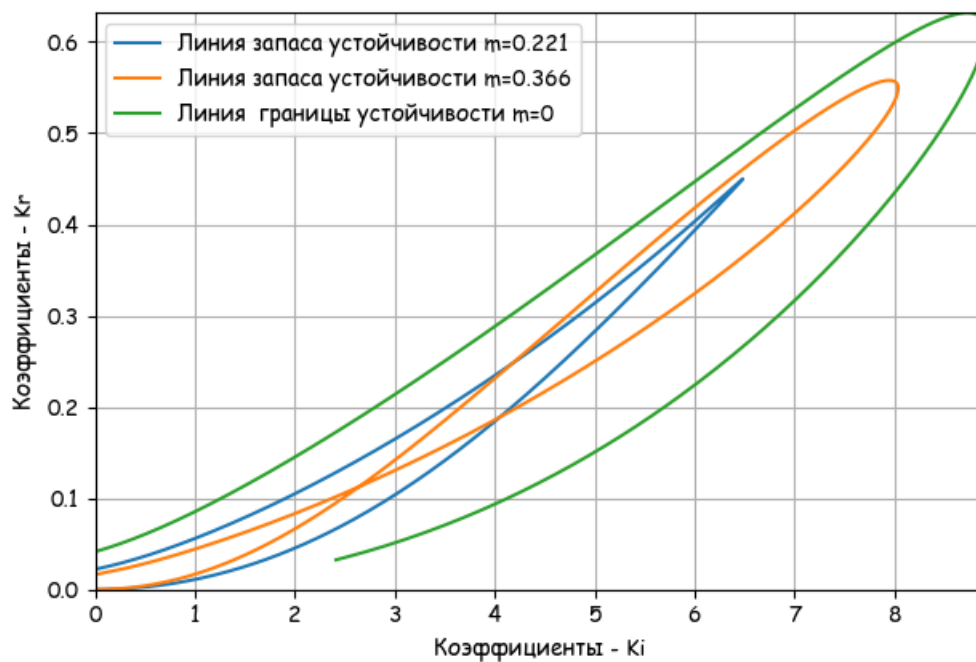


Рис. 4.4 – Площина параметрів ПІД регулятора

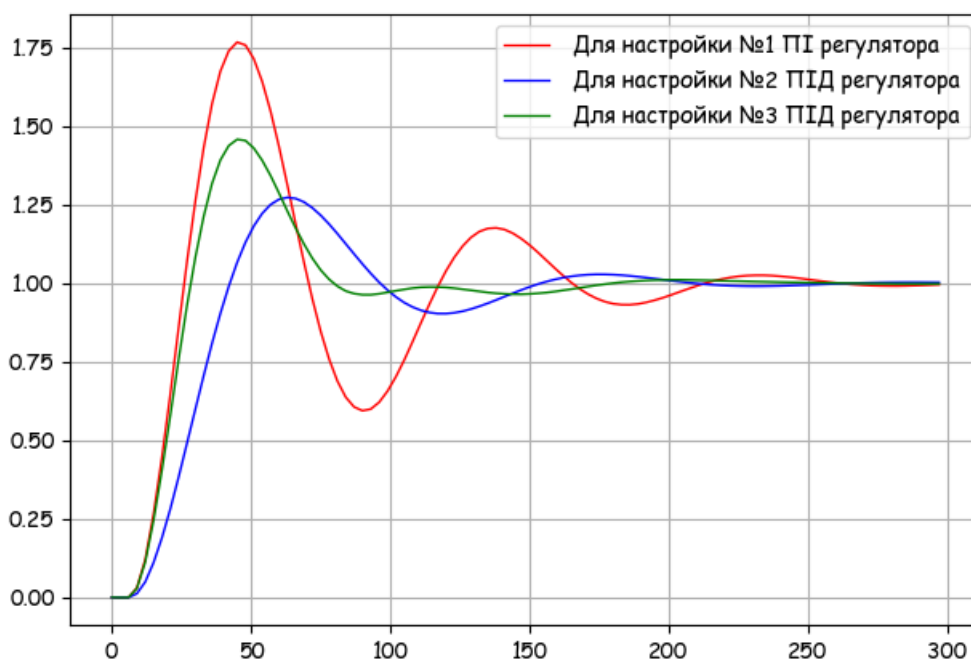


Рис. 4.5 – Перехідні характеристики замкнутої системи АСР з ПІД регулятором

Для налаштування 1:

Лінійний інтегральний критерій якості $I_1 = 194,65$

Квадратичний інтегральний критерій якості $I_2 = 222,428$

Для налаштування 2:

Лінійний інтегральний критерій якості $I_1 = 179,647$

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000.ПЗ

Арк

101

Квадратичний інтегральний критерій якості $I_2 = 183,35$

Для налаштування 3:

Лінійний інтегральний критерій якості $I_1 = 191,911$

Квадратичний інтегральний критерій якості $I_2 = 204,766$

Отже оптимальними параметрами за інтегральними критеріями є налаштування 2: $K_p = 2,747$; $T_i = 50,87$; $T_{пр} = 10,174$; $K_i = 0,054$

Структурна схема замкнутої системи регулювання представлена на рис. 4.3.

З ряду збурень, що діють на об'єкт регулювання, зміна величини рН є найбільш вірогідним, несприятливим, тому доцільно розглянути перехідний процес в замкнутій системі при нанесенні обурення по величині рН.

Вираз для передавальної функції отримано аналогічно:

$$W_{11}(p) = [0,85/(3,6p + 1)]e^{-20p} \quad (4.10)$$

Рівняння замкнутої системи по каналу

$$\begin{aligned} \Delta pH_3 \left[1 + \left[1,24 + 0,137 \left(\frac{1}{p} \right) + 2,01p \right] \left[\frac{0,36}{3,6p + 1} \right] e^{-20p} \right] \\ = \Delta pH_1 [0,85/(3,6p + 1)] e^{-20p} \end{aligned} \quad (4.11)$$

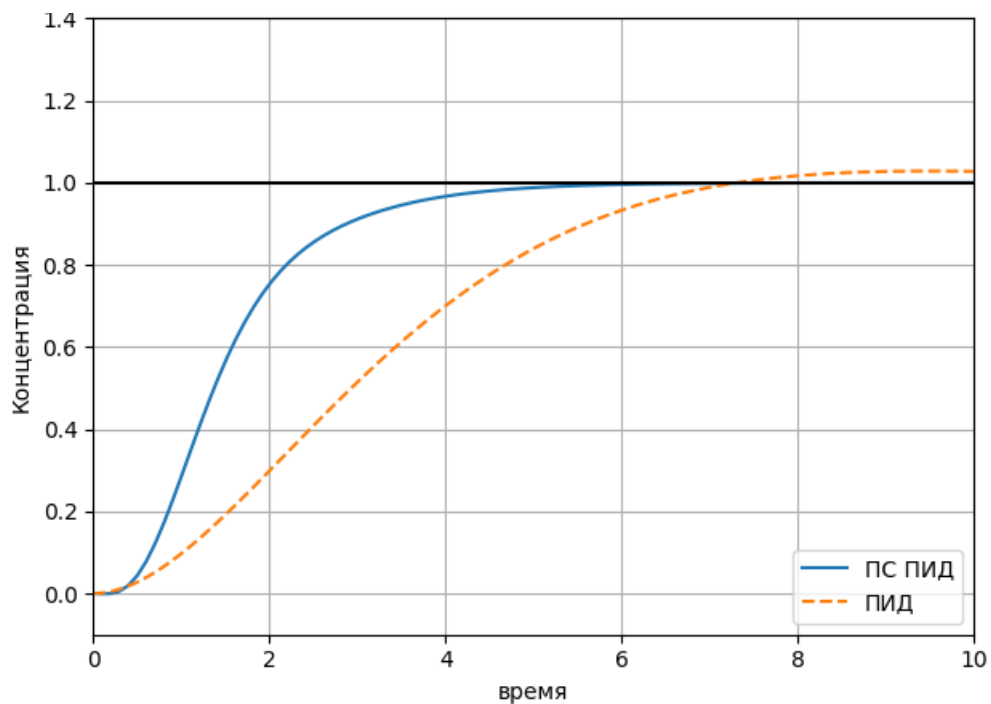


Рис. 4.6 – Динамічні характеристики системи регулювання

Крива розгону об'єкта регулювання 1 і крива перехідного процесу в системі регулювання 2 показані на рис. 4.6.

Аналіз кривих показує, що установка ПД-регулятора сприятливо позначається на динамічних характеристиках системи.

5.ОХОРОНА ПРАЦІ

Завдання охорони праці – звести до мінімуму імовірність ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Відповідно до теми дипломного проекту «Автоматизація виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском» було розроблено безпечні умови для обслуговуючого персоналу. Тому питання безпеки та покращення умов праці разом з підвищенням продуктивності та продукції, що випускається, є визначальними.

Контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор лінії, пульт якого знаходиться в приміщенні цеху, площа якого $S=400\text{ м}^2$ та об'ємом $V=1200\text{ м}^3$.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами є:

- 1) виробничий шум;
- 2) повітря робочої зони;
- 3) електробезпека;
- 4) пожежна безпека.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		104

5.1. Шум

Джерелом шуму при роботі обладнання є:

- насоси;
- електродвигуни;
- вентилятори;

Загальний рівень шуму при роботі з обладнанням є: $L=89$ дБА;

Захист від шуму досягається розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням засобів і методів індивідуального і колективного захисту, будівельно-акустичними методами. Засоби колективного захисту діляться стосовно джерела шуму: понижуючі шум у джерелі виникнення (найбільше ефективно); понижуючі шум на шляхах його поширення.

Згідно санітарно – технічному паспорту установки рівень шуму в робочій зоні операторів складає 60 дБА, що не перевищує норми.

Для зменшення виробничого шуму передбачені наступні заходи:

- використання шумо ізолюючих кожухів $\Delta L=12$ дБА;
- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться $\Delta L=6$ дБА;
- своєчасний ремонт всіх механічних вузлів за регламентом $\Delta L=5$ дБА;
- своєчасна заміна всіх механічних вузлів за регламентом $\Delta L=5$ дБА.

Фактичні показники шуму ($L = 60$ дБА) не перевищують допустимі, які встановлені ДСН 3.36.037-99.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму відповідно до ГОСТ 12.4.029-80 використовують м'які прогумовані вкладиші, протишумові навушники ПШН-Б ($\Delta L=10$ дБА), вкладиші «Беруши СТ-1» ($\Delta L=16$ дБА).

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		105

5.2. Повітря робочої зони

Під час виробництва розведеної азотної кислоти можливе не значне виділення шкідливих парів та теплове випромінювання.

До засобів нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць відносяться пристрої вентиляції, кондиціювання й очищення повітря, опалення. Додатково до технологічних заходів системами опалення й вентиляції повітряне середовище в приміщеннях доводиться до вимог санітарних норм і правил техніки безпеки.

Робота операторів на пересувній установці відноситься до важкої фізичної роботи через те, що установка розташована в умовах шуму, пилу, робота проводиться в 2 зміни. Енерговитрати за таких умов праці складають більше 293 Дж/с. У зв'язку з цим передбачено можливість відпочинку персоналу в закритому приміщенні.

Фактичні параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні для даної категорії робіт наведені у таблиці.

Таблиця 5.1 – Фактичні параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні

Сезон року	Категорія робіт – 1б		
	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
	Фактична	Фактична	Фактична
Холодний	19-20	40-65	0,2
Теплий	20-25	40-70	0,2

Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 343-363К, а в теплий час року вентиляцією. Вентиляція відбувається за рахунок центральної системи вентиляції цеху, яка була розроблена відповідно до норм. Параметри повітря робочої зони відповідають і ДСН 3.3.6.042-99.

5.3. Електробезпека

Приміщення хімічної промисловості, за класифікацією ПУЕ (правила установки електрообладнання) відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Електричне устаткування на проектованій установці живиться від 3-х фазної провідної електричної мережі перемінного струму з глухо заземленою нейтраллю напругою 220/380 В і частотою 50 Гц.

Дія на організм людини електричного струму напругою вище 42В (для особливо небезпечних приміщень - 12В) небезпечно для життя.

Основними причинами ураження струмом є:

- поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, унаслідок помилкового включення установки;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю;
- поява напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування - корпусах, кожухах і т.д. у результаті ушкодження ізоляції й за інших причин;
- випадковий дотик чи наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходиться під напругою.

Відповідальність за своєчасне забезпечення працівників і комплектування електроустановок засобами захисту згідно з нормами комплектування, за організацію належних умов зберігання, створення необхідного запасу, своєчасне проведення періодичних оглядів і випробувань, вилучення непридатних засобів та організацію обліку несе власник цих засобів.

Поява напруги на неструмовідних частинах електроустановок пов'язана з пошкодженням ізоляції і замиканням на корпус. Основними технічними заходами щодо попередження електротравм при замиканнях на корпус є занулення, захисне відключення. Заземлення в електроустановках — це навмисне з'єднання елементів електроустановки, які не знаходяться під напругою, з

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						107
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

глухо заземленою нейтраллю генератора чи трансформатора в мережах трифазного струму, з глухо заземленим вводом джерела однофазного струму, з глухо заземленою середньою точкою джерела в мережах постійного струму. Опір ізоляції повинен бути $\geq 0,5$ МОм.

Електрична апаратура, встановлена всередині робітничих приміщень, повинна мати ступінь захисту $I_p=51$ (ГОСТ 14254-80).

Ізоляція провідників вимірюється мегаомметром П044Т У25-0.4-1970-80.

Основними заходами від ураження електричним струмом є:

- ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R \geq 0,5$ Ом);
- електророзділення мережі за допомогою спеціальних розділяючих трансформаторів;
- рубильники включення замкнені в спеціальних шафах;
- при роботі з електроінструментом, потрібно застосовувати індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки;
- блокування безпеки;
- орієнтація в електроустановках;
- малі напруги для переносного інструменту.

Забороняється:

- проводити роботи на незанулених вузлах лінії;
- проводити ремонт лінії без вимкнення електричної мережі;
- залишати лінію, що працює без нагляду;
- допускати до роботи людей, які не пройшли навчання і не були ознайомлені з правилами техніки безпеки на виробництві.

Вимоги до засобів захисту, їх конструкції та обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад виконано у відповідності до вимог ДНАОП 1.1.10-1.07-01 "Правила експлуатації електрозахисних засобів". Занулення установки виконується відповідно до ГОСТ 12.1. 030-81.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		108

Засоби захисту, що використовуються в електроустановці, відповідають вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції.

5.4. Пожежна безпека

В виробничому цеху, де працює лінія може спалахнути: промаслена ве-
тош, машинне масло, електропроводка, електрообладнання, матеріали. Отже,
приміщення, де знаходиться лінія відноситься до категорії „В” ОНТП 24-86, і
класу зони П-І(ПУЕ).

Це виробництво в якому використовуються рідини з температурою спа-
лаху вище 70°C і горючі пили або волокна, нижня границя займання яких бі-
льше 65 мг/м³, тверді речовини і матеріали, що займаються, які здатні лише
горіти, але не вибухати при контакті з повітрям, водою або один з одним.

Причини пожежі:

- струм, перевантаження, великі перехідні опори; -загоряння ізоляції на-
грівачів;
- несправність електрообладнання;
- пряме ураження блискавкою, що може викликати пожежу і руйнацію
будівлі.

Засоби запобігання виникненню пожежі:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки серед обслугову-
ючого персоналу;
- наявність засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної
сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявність засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від уста-
новки (пісок, вогнегасники).

В якості засобів гасіння пожежі використовують вогнегасники «ОУ-5»,
щити і ящики з піском.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						109
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Для гасіння включених електромереж застосовують порошкові вогнегасники «САМ-9» (5 шт.). Також використовуються пожежні рукави Ф77.

В час виникнення пожежі передбачена пожежна сигналізація – теплові оповіщувальні пристрої типу ДТП. Інформація від оповіщувачів надходить в приймальну станцію.

При виникненні пожежі, люди повинні залишити приміщення. Відповідно до СН.П 2.09.02-85 в приміщенні знаходяться два еваковиходи. Сам цех – це приміщення, яке розташоване на першому поверсі. Ширина шляхів евакуації не менше одного метру, а дверей на шляху евакуації – не менше 0,8 м. Двері еваковиходу повинні відкриватись на зовні, відповідно до СНиП2.09.02-85. На рис. представлено план евакуації з цеху.

Вжиті міри забезпечують відповідність лінії до вимог охорони праці та навколишнього середовища, безпечну роботу персоналу на лінії виробництва та готовність до надзвичайних ситуацій.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		110

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто виробництво розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском. Вся інформація по даному виробництву викладена у п'ятьох розділах.

У першому розділі детально описаний кінцевий продукт виробництва – розведена азотна кислота, а також основна сировина – аміак, що використовується для добування азотної кислоти. Було розглянуто різні технологічні процеси, за допомогою яких можна отримати азотну кислоту, та детально описано найсучаснішу технологію виробництва азотної кислоти – Uhde.

Другий розділ містить у собі опис технологічної схеми виробництва розведеної азотної кислоти під атмосферним тиском: опис роботи системи, опис контурів, аварійний захист та систему технічних блокувань.

У третьому розділі були розглянуті динамічні системи автоматичного керування, а саме: загальні поняття динамічних систем автоматичного керування, основні принципи побудови адаптивних систем управління, технологічні процеси як об'єкти керування, математичний опис систем автоматичного керування технологічними процесами та поняття фазового простору, ідентифікація об'єкта керування та моделювання математичної моделі реактору окиснення аміаку.

Четвертий розділ охоплює математичне моделювання реактору окиснення аміаку, одного з основних приладів у багатьох технологічних процесах добування азотної кислоти. Здійснений порівняльний аналіз системи керування за ПІ- та ПІД-законом регулювання

У п'ятому розділі були встановлені норми охорони праці. Міри захисту забезпечують відповідність лінії до вимог охорони праці та навколишнього середовища, безпечну роботу персоналу на лінії виробництва та готовність до надзвичайних ситуацій.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						111
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. **М. В. Лукінюк** Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютерно-інтегр. технології» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230-231. – 200.

2. **М. В. Лукінюк** Технологічні вимірювання та прилади Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. для курс. проектування. – К., 2002. – 257 с.: іл.

3. *Датчики*: Справочник / З. Ю. Готра, Л. Я.Ильницький, Е. С.Полищук и др. / Под ред. З. Ю. Готры, О. И. Чайковского. – Л.: Каменяр, 1995. – 312 с.

4. *ДСТУ 2681–94*. Метрологія. Терміни та визначення. – Чинний від 26.07.1994. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с.

5. *ДСТУ Б А.2.4–3:2009*. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. Чинний від 23.01.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 54 с.

6. **Ротач В. Я.** Теория автоматического управления [Текст]: учеб. для студ. вузов / В. Я. Ротач. – Москва: Изд. МЭИ, 2004. – 400 с. – Библиогр.: с. 394. – ISBN 978-5-903072-69-9.

7. Вікіпедія – вільна енциклопедія [Електронний ресурс] // <http://ua.wikipedia.org>

8. **А. І.Жученко, Т. В. Аверіна** Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» напряму «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» /Жученко А.І., Т.В.Аверіна – К.: КПІ, 2009. -40 с

9. **Т.В.Аверіна М.В.Лукінюк В.М.Ковалевський А.І.Кубрак** Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» напряму «Автоматизація та

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						112
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютерно-інтегровані технологічні комплекси» / Уклад.: Т.В.Аверіна, М.В.Лукініюк, В.М.Ковалевський, Кубрак А.І. - К.: КПП, 2007.

10. **Манойло А.М., Чередниченко Г.И., Рудович И.М.** Автоматизация производств смазочных материалов. – М.: Химия, 1992.

11. **Брановицька С.В., Медведев Р.Б., Фіалков Ю.Я.** Обчислювальна математика та програмування: Обчислювальна математика в хімії і хімічній технології. – К.: Політехніка, 2004.

					ДП.5119.00.000.ПЗ	Арк
						113
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.ТВП-2.ЛА-5119.000.001.ПЗ	Арк
						6
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК 1

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-1	Витрата	H ₂ O, трубопровід	220 м ³ /год	Трубопровід 1	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 150$ мм; граничнодопустима осн. похибка 1,5 %	ДКС0,6–100	14 од.	ВАТ «Пром-прилад», м. Івано-Франківськ
3-1		Повітря, трубопровід		Трубопровід 3				
4-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
7-1		H ₂ O, трубопровід		Трубопровід 1				
8-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
10-1		H ₂ O, трубопровід		Трубопровід 1				
11-1		Конденсат з NH ₃ , трубопровід		Трубопровід 33				
13-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
16-1		H ₂ O, трубопровід		Трубопровід 1				
21-1		Азотна кислота, трубопровід		Трубопровід 29				
32-1		Конденсат з NH ₃ , трубопровід		Трубопровід 33				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

114

33-1		Нітрит-нітратні луги, трубопровід		Трубопровід 31				
36-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 30				
37-1		Викидні гази, трубопровід		Трубопровід 32				
2-2	Витрата	H ₂ O, трубопровід	220 м ³ /год	Місцевий	Дифманометр безшкальний пневматичний із квадратичною функцією перетворення; матеріал чутливого елемента – сплав 36НХТЮ; ΔРmax = 400 кПа; температура повітря (-50)...80 °С, відстань передачі сигналу за внутрішнього діаметру трубки 6 мм – 300 м, клас точності 1, Рвих = 20...100 кПа	13ДД11 (мод. 720)	14 од.	ВО «Теплоприбор», м. Рязань
3-2		Повітря, трубопровід						
4-2		Суміші, трубопровід						
7-2		H ₂ O, трубопровід						
8-2		Суміші, трубопровід						
10-2		H ₂ O, трубопровід						
11-2		Конденсат з NH ₃ , трубопровід						
13-2		Суміші, трубопровід						
16-2		H ₂ O, трубопровід						
21-2		Азотна кислота, трубопровід						
32-2		Конденсат з NH ₃ , трубопровід						
33-2		Нітрит-нітратні луги, трубопровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

115

36-2		Суміші, трубопровід						
37-2		Викидні гази, трубопровід						
2-3	Витрата	H ₂ O, трубопровід	220 м ³ /год	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний, показувальний, реєструвальний $P_{вх} = 20 \dots 100$ кПа, похибка спрацьовування $\pm 0,6$ %	ФК0071	14 од.	АТ «Тизприбор», м. Москва
3-3		Повітря, трубопровід						
4-3		Суміші, трубопровід						
7-3		H ₂ O, трубопровід						
8-3		Суміші, трубопровід						
10-3		H ₂ O, трубопровід						
11-3		Конденсат з NH ₃ , трубопровід						
13-3		Суміші, трубопровід						
16-3		H ₂ O, трубопровід						
21-3		Азотна кислота, трубопровід						
32-3		Конденсат з NH ₃ , трубопровід						
33-3		Нітрит-нітратні луги, трубопровід						
36-3		Суміші, трубопровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

116

37-3		Викидні гази, трубопровід						
2-4	Витрата	H ₂ O, трубопровід	220 м ³ /год	Щит керування	Блок ручного керування	БРУ-7	10 од.	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ
3-4		Повітря, трубопровід						
4-4		Суміші, трубопровід						
7-4		H ₂ O, трубопровід						
10-4		H ₂ O, трубопровід						
13-4		Суміші, трубопровід						
16-4		H ₂ O, трубопровід						
32-4		Конденсат з NH ₃ , трубопровід						
33-4		Нітрит-нітратні луги, трубопровід						
36-4		Суміші, трубопровід						
2-5	Витрата	H ₂ O, трубопровід	220 м ³ /год	Щит керування	Перетворювач пневмоелектричний, Р _{вх} = 20...100 кПа; І _{вих} = 0...5 (0...20 мА, 4...20 мА); граничнодопустима основна зведена похибка ±0,5; Р _{тах} = 400 кПа; Р _{жив} = 140 кПа; діапазон робочих температур 5...50 °С; монтаж на Din-рейку; індикація вимірюваного параметра; інтерфейс RS-485	МТМ 4000PI-ДЗ	10 од.	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
3-5		Повітря, трубопровід						
4-5		Суміші, трубопровід						
7-5		H ₂ O, трубопровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

117

10-5		H ₂ O, трубопровід						
13-5		Суміші, трубопровід						
16-5		H ₂ O, трубопровід						
32-5		Конденсат з NH ₃ , трубопровід						
33-5		Нітрит-нітратні луги, трубопровід						
36-5		Суміші, трубопровід						
1-1	Тиск	Вода, трубопровід	1 МПа	Трубопровід 1	Вимірювальний тензоперетворювач надлишкового тиску, Р _{тах} = 1 МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ, І _{вих} = 0...5 мА	«Сапфир-22ДИ», мод.2150	14 од.	ВО «Геофіз-прилад», м. Івано-Франківськ
5-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
6-1		Вода, трубопровід		Трубопровід 1				
9-1		Вода, трубопровід		Трубопровід 1				
15-1		Вода, трубопровід		Трубопровід 1				
18-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
19-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
20-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
22-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

118

23-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
24-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
25-1		Суміші, трубопровід		Трубопровід 28				
34-1		Нітрит нітратні луги, трубопровід		Трубопровід 31				
35-1		Натрій карбонат, трубопровід		Трубопровід 34				
1-2	Тиск	Вода, трубопровід	1 МПа	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; НСХ перетворювачів: термоелектричних – А–1, В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М; граничнодопустима основна зведена похибка 0,2 %; цифрова індикація	ІТМ-11	14 од.	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ
5-2		Суміші, трубопровід						
6-2		Вода, трубопровід						
9-2		Вода, трубопровід						
15-2		Вода, трубопровід						
18-2		Суміші, трубопровід						
19-2		Суміші, трубопровід						
20-2		Суміші, трубопровід						
22-2		Суміші, трубопровід						
23-2		Суміші, трубопровід						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

119

24-2		Суміші, трубопровід						
25-2		Суміші, трубопровід						
34-2		Нітрит нітратні луги, трубопровід						
35-2		Натрій карбонат, трубопровід						
12-1	Температура	Суміш газів, трубопровід	200 °C	Трубопровід 28	Термоелектричний перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ К, діапазон вимірювання (50)...1050 °C, захисна арматура – сталь ХН45Ю, довжина монтажної частини 320...2500 мм; діаметр захисної арматури 16 мм; Р _у = 1,6 МПа; інерційність 50 с; клас допуску 2	ТХАУ-706-02	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк
17-1			150 °C	Трубопровід 28	Термоперетворювач, типу ТСПУ, діапазон вимірювання 0...500 °C; основна похибка 0,25 %; U _{жив} = 24 В; Р = 25 МПа; I _{вих} = 4...20 Ма	ТСПУ-205Ех,	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк
26-1			70 °C	Трубопровід 28	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ 50П, діапазон вимірювання (50)...120 °C, Р _{max} = 25 МПа, довжина монтажної частини 20...400 мм, захисна арматура – латунь Л62; інерційність 20 с, клас допуску А, В	ТСПУ-1388	6 од.	НВО «Електротермія», Приладобудівний 3-д, м. Луцьк
27-1				Трубопровід 28				
28-1				Трубопровід 28				
29-1				Трубопровід 28				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

120

30-1				Трубопровід 28				
31-1				Трубопровід 28				
12-2	Темпера- тура	Суміш газів, трубопровід	200 °С	Трубопровід 28	Термоелектричний перетворювач з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ К, діапазон вимірювання (50)...1050 °С, захисна арматура – сталь ХН45Ю, довжина монтажної частини 320...2500 мм; діаметр захисної арматури 16 мм; Р _у = 1,6 МПа; інерційність 50 с; клас допуску 2	ТХАУ-706-02	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк
17-2			150 °С	Трубопровід 28	Термоперетворювач, типу ТСПУ, діапазон вимірювання 0...500 °С; основна похибка 0,25 %; U _{жив} = 24 В; Р = 25 МПа; I _{вих} = 4...20 Ма	ТСПУ-205Ех,	1 од.	НВО «Електротермія», м. Луцьк
26-2			70 °С	Трубопровід 28	Термоперетворювач опору платиновий з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ 50П, діапазон вимірювання (50)...120 °С, Р _{max} = 25 МПа, довжина монтажної частини 20...400 мм, захисна арматура – латунь Л62; інерційність 20 с, клас допуску А, В	ТСПУ-1388	6 од.	НВО «Електротермія», Приладобудівний з-д, м. Луцьк
27-2				Трубопровід 28				
28-2				Трубопровід 28				
29-2				Трубопровід 28				
30-2				Трубопровід 28				
31-2				Трубопровід 28				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

121

12-3	Темпера- тура	Суміш газів, трубопровід	200 °C	Щит керуван- ня	Автоматичний показувальний і реєструваль- ний вторинний прилад із вбудованим пристом- ом сигналізації; вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК 250	8 од..	ВАТ «Теплопри- бор», м. Челябінськ
17-3			150 °C					
26-3			70 °C					
27-3								
28-3								
29-3								
30-3								
31-3								

ЕЛЕКТРОАПАРАТИ

SB1 SB2 SB3 SB4 SB5 SB6 SB7 SB8 SB9 SB10 SB11 SB12 SB13	Витрата	Насос	80 м ³ /год	Щит керування	Пост керування кнопковий, номі- нальна робоча напруга 220, 380, 660 В	ПКУ- 123-11	28 од.	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ
---	---------	-------	---------------------------	------------------	---	----------------	--------	---

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

122

SB14 SB15 SB16 SB17 SB18 SB19 SB20 SB21 SB22 SB23 SB24 SB25 SB26 SB27 SB28								
МП1 МП2 МП3 МП4 МП6 МП7 МП8 МП9 МП10 МП11 МП12 МП13 МП14				Місцевий	Пускач магнітний безконтактний неревверсивний з реле IP-20; I _{вх} = 160 А	ПМ-12 01025	14 од.	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
HL1 HL3 HL5				Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{жив} = 220 \text{ В}, 50/60 \text{ Гц}, d = 27 \text{ мм},$	СКЛ-11- 3-2-220	36 од.	ВАТ «Кашинский завод электро- аппаратуры», м. Москва

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

123

HL7					сила світла 20 мКд			
HL9								
HL11								
HL13								
HL15								
HL18								
HL20								
HL22								
HL25								
HL27								
HL29								
HL31								
HL33								
HL35								
HL37								
HL39								
HL41								
HL43								
HL45								
HL47								
HL49								
HL51								
HL53								
HL56								
HL59								
HL62								
HL65								
HL68								
HL71								
HL73								
HL75								
HL77								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

HL79								
HL2					Лампа сигнальна світлодіодна з червоним індикатором («СТОП»), Ужив = 220 В, 50/60 Гц	ЛС 47-2	44 од.	«ІЕК Україна», м. Київ
HL4								
HL6								
HL8								
HL10								
HL12								
HL14								
HL16								
HL17								
HL19								
HL21								
HL23								
HL24								
HL26								
HL28								
HL30								
HL32								
HL34								
HL36								
HL38								
HL40								
HL42								
HL44								
HL46								
HL48								
HL50								
HL52								
HL54								
HL55								
HL57								
HL58								

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.5119.00.000

Арк

125

HL60								
HL61								
HL63								
HL64								
HL66								
HL67								
HL69								
HL70								
HL72								
HL74								
HL76								
HL78								
HL80								